

Zestawy głośnikowe

Eugeniusz Fuchs



Zestawy głośnikowe

Eugeniusz Fuchs

W książce omówiono zasady stosowania zestawów głośnikowych w warunkach domowych i bogato zilustrowano. Razem z płytą kompaktową zawierającą sygnały testowe książka stanowi cenną pozycję w bibliotece każdego elektronika. Książka może być pomocna dla uczniów i studentów szkół elektronicznych zajmujących się elektroakustyką.

© Copyright by
Wydawnictwo Techniczne ARTKELE
Zielona Góra 2001

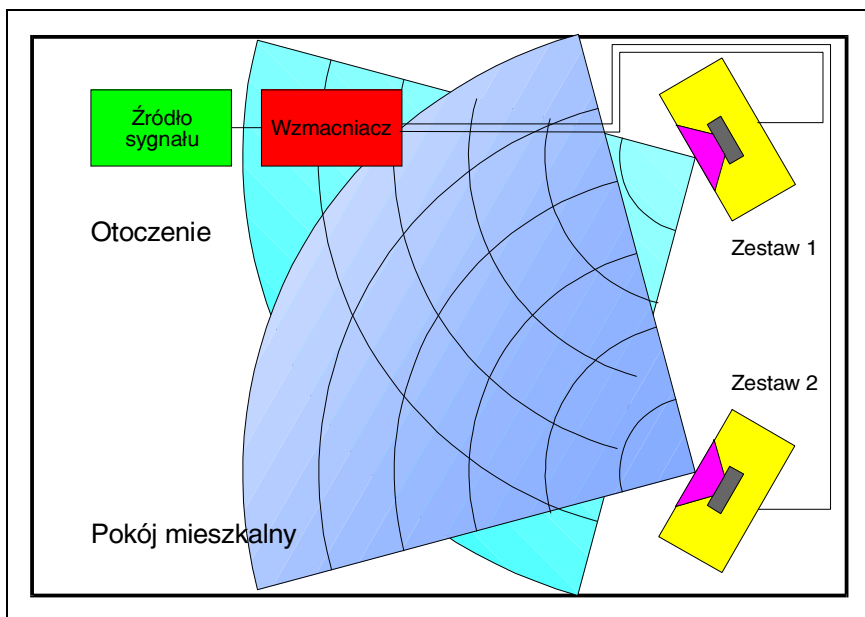
All rights reserved
Printed in Poland

SPIS TREŚCI

1. Wprowadzenie	2
2. Dźwięk	4
3. Postrzeganie dźwięków.	8
4. Akustyka pomieszczeń mieszkalnych	12
4.1. Odbicia i tłumienie, pogłos	12
4.2. Rezonanse pomieszczenia	17
5. Usytuowanie zestawów w pomieszczeniu	21
6. Odtwarzanie stereofoniczne	28
7. Zestawy głośnikowe	32
7.1. Nagłośnienie pomieszczenia i zapotrzebowanie na moc, efektywność zestawów głośnikowych	32
7.2. Obciążalność zestawów głośnikowych	35
7.3. Inne parametry zestawów	48
7.4. Wpływ obciążenia na parametry zestawów	67
7.5. Obudowa i wyposażenie	68
7.6. Zestawy stereofoniczne	69
8. Wzmacniacz	71

1. Wprowadzenie

W okresie ostatnich kilku lat na krajowym rynku sprzętu elektroakustycznego pojawiło się wielu nowych producentów i dostawców oferujących bogatą gamę zróżnicowanych wyrobów, zarówno w cenie jak i jakości. Oferenci licytują się deklarując coraz bardziej wyrafinowane funkcje i coraz wyższe osiągi techniczne. Niektórzy z nich, zapewne dla pozyskania klientów, deklarują parametry według własnej interpretacji co utrudnia porównanie wyrobów między sobą.



Rys. 1. Schemat eksploatacji zestawu muzycznego

Coraz wyższej jakości (i niestety, cenie) wyrobów nie towarzyszy odpowiednia informacja producenta o warunkach poprawnej eksploatacji urządzeń, w których ta jakość może się uzewnętrznić. Jest to ważne, gdyż w wielu przypadkach czynniki zewnętrzne mogą istotnie wpływać na jakość odbieraną przez użytkownika. Jest tak np. w przypadku eks-

platacji zestawów muzycznych w pomieszczeniach mieszkalnych. Typowy schemat eksploatacji przedstawia rysunek 1. Rysunek uwypukla niektóre istotne elementy mające wpływ na końcową percepcję dźwięku przez użytkownika:

1. Przestrzeń odsłuchowa (pokój mieszkalny użytkownika),
2. Zestawy głośnikowe,
3. Źródło sygnału,
4. Wzmacniacz,
5. Otoczenie.
6. Słuchacz (użytkownik).

Każdy z tych elementów wnosi swój udział do ostatecznej jakości w odtwarzaniu i percepcji dźwięku. Niedostatki jednych mogą być w pewnym zakresie korygowane przez inne, właściwości niektórych można zmieniać, wpływ jednych można ograniczyć, a możliwość oddziaływania na niektóre jest niewielki. Znajomość własności i możliwości poszczególnych członów może przybliżyć nas do pożądanego optimum: **MAKSIMUM OSIĄGÓW ZA MINIMUM CENY**.

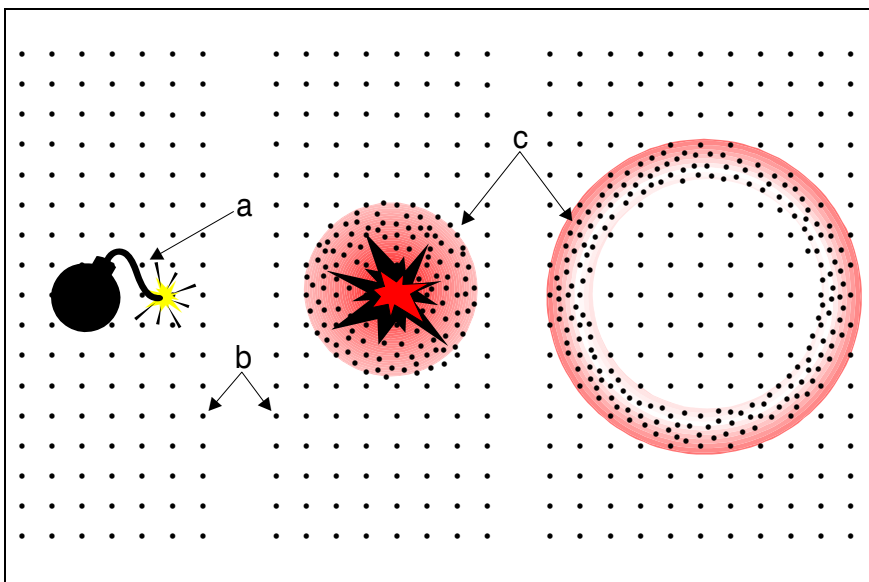
Czytelnik zapewne intuicyjnie wyczuwa, że najważniejszym, bo ostatnim elementem toru transmisji dźwięku jest zestaw głośnikowy. Jego osiągi decydować będą w istotny sposób o tym co słyszeć i oceniać będzie użytkownik, z jego też perspektywy oceniać się będzie całość zestawu muzycznego oraz jakość przekazu.

Równie ważnym elementem toru jest przestrzeń odsłuchowa. Współdziała ona z zestawami głośnikowymi w ostatecznym tworzeniu obrazu dźwiękowego. Niestety, jej wpływ jest nagminnie niedoceniany lub nawet niedostrzegany przez oferentów sprzętu. Problem jest o tyle głębszy, że użytkownik jest tu pozostawiony sam sobie co często prowadzi do nietrafnych zakupów i frustracji, gdy np. okazuje się, że zestaw zupełnie inaczej brzmiał w sklepie niż teraz brzmi w mieszkaniu, a nabywca nie wie co się stało i co zrobić aby ten stan poprawić.

Niniejsza książka będzie się starała przybliżyć czytelnikowi niektóre aspekty dotyczące eksploatacji zestawów głośnikowych w pomieszczeniach mieszkalnych.

2. Dźwięk

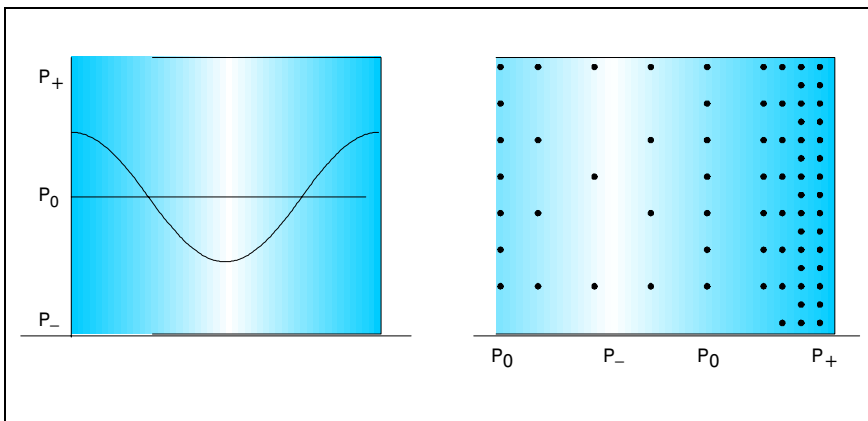
Słyszenie, podobnie jak widzenie, jest jednym z głównych doznań przy pomocy których odbieramy otaczający nas świat zewnętrzny. Słyszymy dzięki złożonemu aparatowi słuchu, którego jednym z elementów jest ucho pełniące rolę receptora dźwięku. Nie wnikając w istotę percepcji dźwięku, ucho można porównać do mikrofonu gdyż podobnie jak on przetwarza zmiany ciśnienia ośrodka na impulsy elektryczne.



**Rys. 2. Powstawanie dźwięku: a) źródło dźwięku (którego lepiej unikać);
b) molekuly powietrza przy normalnym ciśnieniu;
c) wyższe ciśnienie i zgęszczenie molekul**

Pojęcie dźwięku używane jest do określania wrażenia odbieranego przez ucho oraz do określania fizycznej przyczyny tego zjawiska. Źródłem dźwięku jest coś co wytwarza drgania, drgania pobudzają ośrodek zmieniając w nim lokalnie ciśnienie. Zmiany ciśnienia rozprzestrzeniają

się w ośrodku, np. w powietrzu, i docierają do ucha które z kolei przetwarza zmiany ciśnienia na impulsy przekazywane nerwem słuchowym do mózgu. Zachodzące zjawiska ilustruje rysunek 2. Zjawiska występujące na powierzchni umownej membrany ucha ilustruje rys. 3 i 4.



Rys. 3. Rozkład ciśnienia w otoczeniu umownej membrany ucha

Rys. 4. Fala dźwiękowa w otoczeniu umownej membrany ucha

Zjawisko dźwięku wywołane jest okresowym wzrostem i spadkiem ciśnienia (czyli zagęszczeniem i rozrzedzeniem ilości cząstek w jednostce objętości) wokół ciśnienia średniego P_0 . Cząsteczki ośrodka drgają wokół swoich położenia równowagi przekazując sobie wzajemnie ruch wzdłuż osi pobudzenia. Same nie przemieszczają się na większe odległości, wytwarzają zaburzenie ciśnienia, które rozchodzi się na dalszą odległość w postaci fali dźwiękowej. Fala ta przenosi z miejsca swego wytworzenia do miejsca odbioru określoną energię. Wielkość przeniesionej energii decyduje o natężeniu dźwięku od którego zależy nasze odczucie głośności.

Dźwięk przemieszcza się w powietrzu ze stałą prędkością zależną od ciśnienia statycznego i temperatury. Przy ciśnieniu 10^5 N/m^2 oraz temperaturze 22°C prędkość dźwięku wynosi $344,8 \text{ m/s}$, dla celów praktycznych przyjęto 340 m/s . Długość fali dźwiękowej (λ) zależy od jej częstotliwości wg. wzoru:

$$\lambda = 340 / f$$

gdzie:

λ – długość fali dźwiękowej w [m],

f – częstotliwość w [Hz].

Zaburzenie ośrodka wywołane przez pobudzenie wytwarza przyrost, lub ubytek ciśnienia wokół wartości ciśnienia normalnego w otoczeniu (rys. 2, 3 i 4). Ta składowa zmienna ciśnienia powietrza nazwana została ciśnieniem dźwięku. Ze względów praktycznych głośność dźwięku przyjęto mierzyć przy pomocy tego właśnie ciśnienia. Ciśnienie dźwięku P mierzy się w mierze bezwzględnej w mikrobarach lub w niutonach na metr kwadratowy. Bardziej użyteczne jest określanie ciśnienia dźwięku w mierze względnej w odniesieniu do poziomu przy którym zaczynamy słyszeć. Stwierdzono, że ucho reaguje na przyrosty ciśnienia dźwięku logarytmicznie, tzn. ucho staje się mniej czułe przy wzroście natężenia dźwięku. Dzięki mierze logarytmicznej proporcjonalnie takie same zmiany wyrażane są przez taką samą ilość jednostek.

Jednostką natężenia dźwięku jest Bel (B) ale w praktyce używa się jednostki mniejszej, decybel (dB), która wynosi 1/10 B. Ciśnienie dźwięku w decybelach określa się w stosunku do standardowego ciśnienia dźwięku P_{ref} , którym jest próg słyszalności przy 1 kHz wynoszący $2 \cdot 10^{-5} \text{ N/m}^2$ tj. $2 \cdot 10^{-4}$ mikrobara.

Poziom ciśnienia dźwięku określa poniższe wyrażenie:

$$\text{SPL} = 20 \log (P/P_{\text{ref}})$$

Oprócz poziomu ciśnienia dźwięku do określania dźwięku używa się jeszcze takich miar jak poziom głośności i poziom mocy akustycznej. Mają one takie poziomy odniesienia, że ich poziomy względne w dB różnią się tylko nieznacznie od SPL i są niższe odpowiednio o 0,1 i 0,5 dB w związku z czym przyjęto że są równe SPL.

Fala dźwiękowa podlega odbiciu, ugięciu (rozproszeniu) i tłumieniu. Napotykając doskonale sztywną przeszkodę o dużych wymiarach w porównaniu z długością fali ulega całkowitemu odbiciu. Jeśli przeszkoda nie jest doskonale sztywna (materiał o małej gęstości) to tylko część energii fali ulegnie odbiciu, reszta zostanie pochłonięta przez

materiał przeszkody i zamieniona w ciepło. Jeśli dźwięk napotka małą (w stosunku do długości fali) przeszkodę lub wychodzić będzie z małego otworu, to dźwięk ulegnie ugięciu rozpraszając się za przeszkodą (otworem). Podobne ugięcie następuje również np. na krawędziach obudów głośnikowych.

3. Postrzeganie dźwięków

Ucho jest naszym najdoskonalszym narządem. Gdyby nie było zakłóceń, to dźwięk nadany z mocą 1 W byłby słyszany z odległości 500 km, a gdyby było trochę czulsze to słyszelibyśmy nie tylko zmiany ciśnienia fali dźwiękowej, ale także ciągły szum chaotycznego ruchu cząstek powietrza. Ucho potrafi np. odróżnić poziomy głośności różniące się o 0,25 dB, różnice w wysokości dźwięku wynoszące 1/5 półtonu, różnice w usytuowaniu źródeł dźwięku wynoszące 3 stopnie itd.

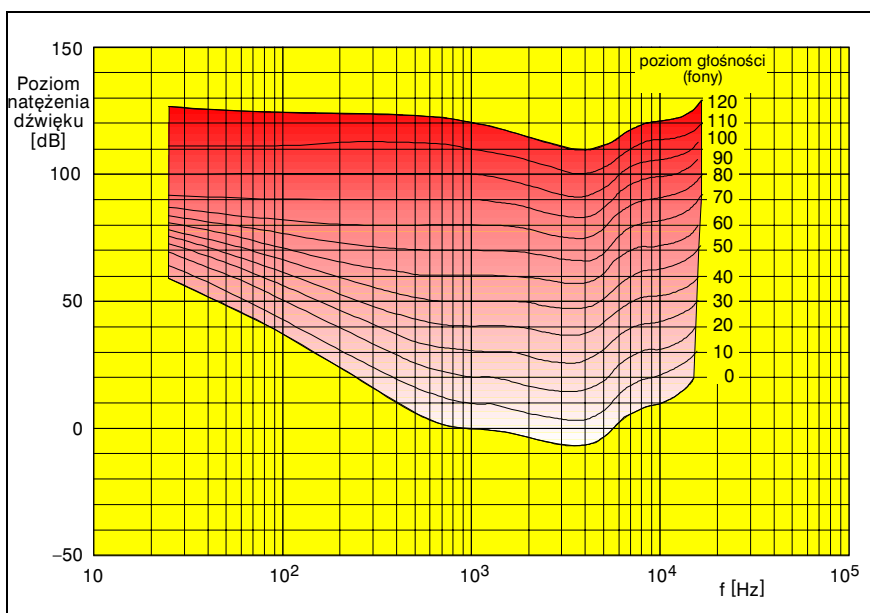
Dźwięk jest zjawiskiem złożonym i wielowymiarowym. Dźwięk np. jednego instrumentu muzycznego składa się z tonu podstawowego f , oraz pewnej ilości tonów harmoniczných o częstotliwościach będących wielokrotnością tonu podstawowego. Brzmienie instrumentów zależy od tego jaka część energii dźwięku przypada na częstotliwość podstawową a jaka na harmoniczne i jaki jest procentowy udział poszczególnych składowych. Dźwięki niektórych instrumentów takich jak fortepian, bęben czy talerze charakteryzuje duży (impulsowy) wzrost poziomu w krótkim okresie czasu. Takie impulsowe dźwięki zawierają szczególnie dużo harmoniczných o znacznych poziomach.

Zakres słyszalnych dźwięków zawiera się w przedziale od 16 Hz do ponad 16 kHz. Zakres częstotliwości podstawowych tradycyjnych instrumentów muzycznych zawiera się od około 16 Hz (organy) do 4186 Hz (pikulina). Najniższe częstotliwości pojawiają się raczej rzadko i są słabo słyszalne nawet w cichych pomieszczeniach, ich odtwarzanie przez urządzenia elektroakustyczne nie jest więc niezbędne. Przyjmuje się, że dla dobrej reprodukcji dźwięku wystarczy odtwarzanie częstotliwości począwszy od 40 Hz przy jednoczesnym braku zauważalnych zniekształceń w oktawie poniżej, tj. w przedziale 20÷40 Hz.

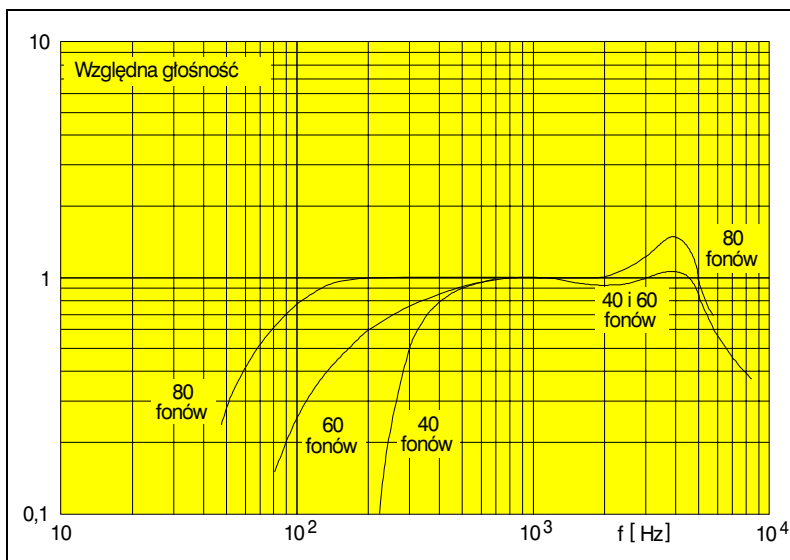
Najwyższe częstotliwości harmoniczne mają skrzypce i talerze (16 i 17 kHz). Poziom harmoniczných może być znaczny i np. dla talerzy poziom harmoniczných 15 kHz jest prawie taki sam jak poziom podstawowej 300 Hz. Dla uzyskania szybkich narostów („atakującego”) dźwięku należy zapewnić przenoszenie najwyższych częstotliwości bez

ograniczeń, mimo że górna granica słyszalności nie jest wysoka a dla osób starszych obniża się nawet do ok.12 kHz.

Czułość ucha w postrzeganiu dźwięków zależy od ich częstotliwości i natężenia. Przy niskich natężeniach najlepiej słyszymy dźwięki o częstotliwościach średnich, trochę słabiej częstotliwości wysokie i znacznie słabiej częstotliwości niskie. Przy wysokich natężeniach dźwięku częstotliwości niskie i średnie słyszymy podobnie, natomiast częstotliwości wysokie trochę lepiej. Głośność dźwięku (wrażenie subiektywne) określa się w fonach i jest ona równa poziomowi natężenia dźwięku w dB przy 1 kHz. Występujące zależności ilustrują rys. 5 i 6. Właściwościami słuchu nie da się więc uzasadnić rozpowszechnionej manieri „podkręcania” odtwarzania częstotliwości wysokich także przy dużych poziomach głośności; dodatkowo zwiększa to niepotrzebnie ryzyko uszkodzenia głośników wysokotonowych w zestawach głośnikowych.



Rys. 5. Charakterystyki jednakowej głośności



Rys. 6. Charakterystyka ucha jako funkcja poziomu głośności

Wykresy wskazują również, że zmniejszaniu głośności towarzyszy znaczący ubytek basów. Efekt ten uzasadnia stosowanie we wzmacniaczach tzw. fizjologicznej regulacji głośności, włączania funkcji „Kontur” bądź podnoszenia basów przy małych głośnościach.

Subiektywne wrażenie głośności nie jest liniową funkcją poziomu głośności. Powyżej 40 fonów jest ono logarytmiczną, a poniżej 40 fonów prawie logarytmiczną funkcją poziomu głośności. Z tego powodu regulatory głośności we wzmacniaczach muszą mieć wykładniczą charakterystykę regulacji (odwrotną do charakterystyki czułości ucha).

Istotnym parametrem obrazu dźwiękowego jest zakres dynamiki dźwięku, tj. stosunek pomiędzy dźwiękami silnymi a słabymi. Ucho jest w stanie postrzegać dźwięki o dynamice do ok. 120 dB. Dźwięki silniejsze wywołują wrażenie bólu, a dźwięki o poziomie powyżej 140 dB mogą nawet uszkodzić słuch.

Pomijając dyskoteki i koncerty rockowe gdzie młodzież lubi sobie dobrowolnie niszczyć słuch, potrzeba wykorzystania 120 dB dynamiki raczej nie występuje. Zakres dynamiki pomierzony w czasie 3-godzin-

nego koncertu dużej orkiestry wyniósł raptem 74 dB; po wykluczeniu jednorazowego krótkiego (0,1 s) dźwięku zakres dynamiki wyniósł 65 dB. Jeśli idzie o mowę to maksymalna dynamika nie przekracza 40 dB.

Odtwarzanie dźwięków najcichszych ograniczone jest poziomem hałasu w miejscu odsłuchu; dźwięki najcichsze trzeba odtwarzać z poziomem co najmniej trochę wyższym od poziomu hałasu gdyż inaczej zostaną przez hałas „zamaskowane”. Przyjmując, że poziom hałasu ok. 40 dB można jeszcze uzyskać w pomieszczeniu mieszkalnym to wynikający stąd poziom maksymalny $(40 + 65) = 105$ dB jest już raczej nie do zaakceptowania w takim pomieszczeniu, nawet przy niezbyt nerwowych sąsiadach.

Wyższy poziom głośności oznacza wyższą moc a więc i wyższą cenę zestawów głośnikowych. Ograniczenia narzucane przez otoczenie nie uzasadniają dającego się zauważyć owczego pędu do dużych mocy zestawów głośnikowych. Nawet jeśli ktoś jest szczęśliwym posiadaczem domku jednorodzinnego i nie musi oglądać się na sąsiadów to i tak słuchanie czegoś ze średnim poziomem 90 dB będzie na dłuższą metę zbyt męczące.

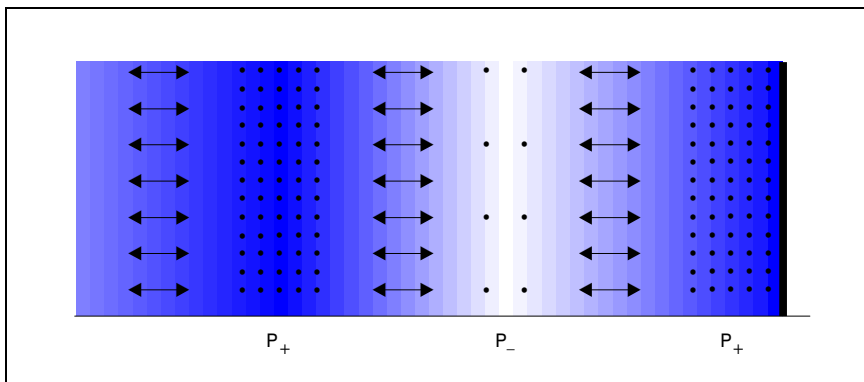
Na zakończenie tych rozważań o dźwięku i jego postrzeganiu należy zauważyć, że subiektywne („słyszane”) postrzeganie większości parametrów dźwięku różni się od tzw. parametrów „obiektywnych”, mierzonych przyrządami pomiarowymi; wynika to z właściwości naszego narządu słuchu. Wprowadza to niestety sporo zamieszania, czasem nawet nieporozumień i może dezorientować czytelnika. Wyjaśnienie tych wszystkich zawiłości przekracza jednak ramy niniejszej książki

4. Akustyka pomieszczeń mieszkalnych

Właściwości akustyczne pomieszczenia odsłuchowego mają kapitalny wpływ na jakość postrzeganego dźwięku. Może się zdarzyć, że nabywca wydał mnóstwo pieniędzy na doskonałe zestawy głośnikowe Hi-Fi, które po zainstalowaniu w dysponowanym przez użytkownika pomieszczeniu wyglądają wprawdzie wspaniale, ale o wiele gorzej brzmią. Poniższe rozważania postarają się wyjaśnić problem, i być może, pomogą znaleźć środki zaradcze.

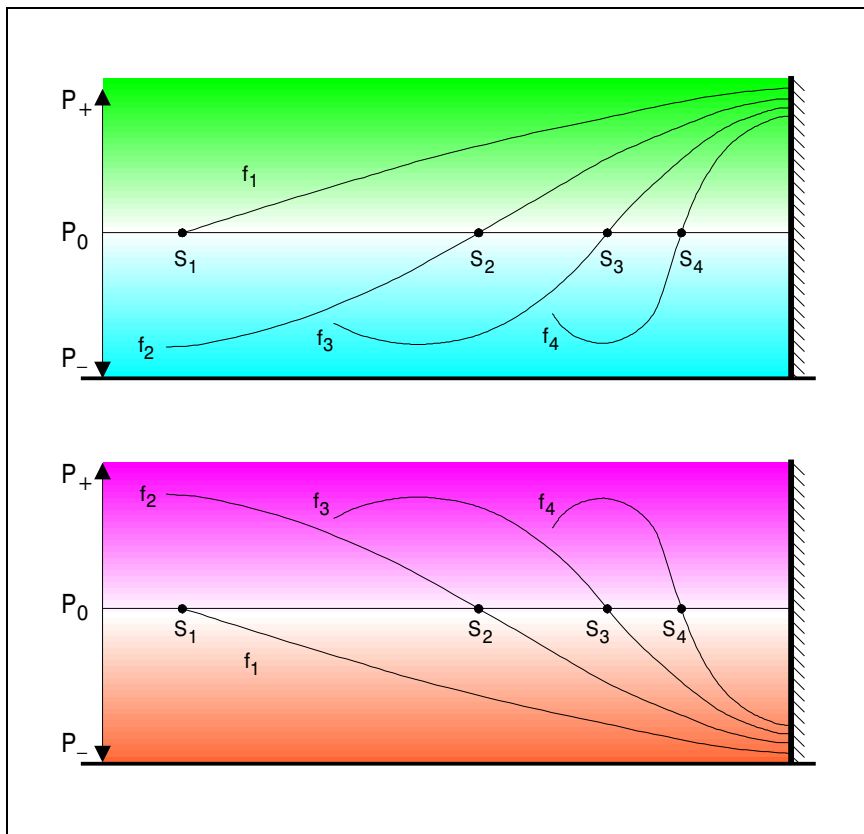
4.1. Odbicia i tłumienie, pogłos

W pomieszczeniach mieszkalnych fala akustyczna nie może się rozprzestrzeniać swobodnie. Po przebiegnięciu określonej drogi napotyka przeszkodę lub ścianę i odbija się, przy czym część energii zostaje pochłonięta i zamieniona w ciepło. Cząsteczki ośrodka napotykając ścianę zagęszczają się co odpowiada wystąpieniu maksimum ciśnienia. Ilustruje to rys. 7.



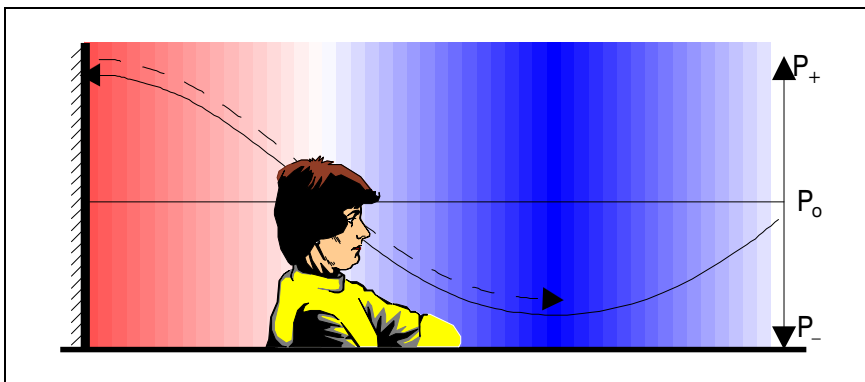
Rys. 7. Rozkład ciśnienia przy ścianie

Fala akustyczna odbija się od ściany tworząc zawsze, niezależnie od częstotliwości, maksimum ciśnienia przy ścianie. W odległości $\lambda/4$ od



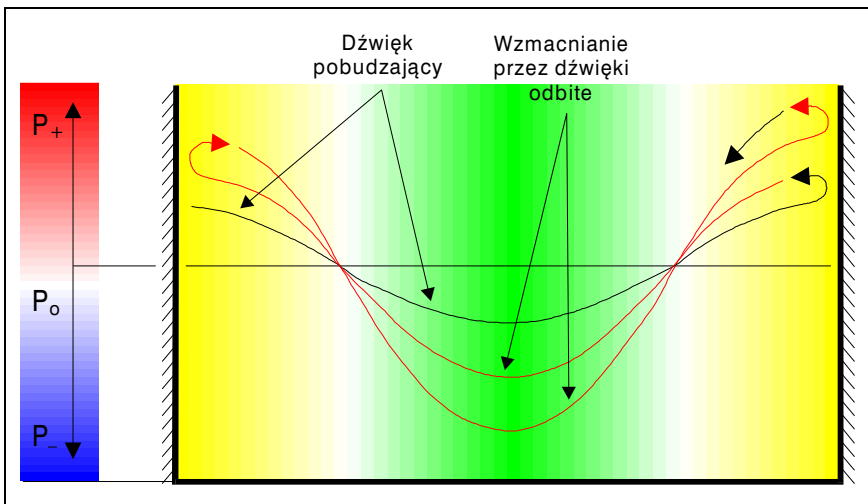
Rys. 8. Rozkład fali akustycznej przy ścianie.

ściany wystąpi już tylko ciśnienie P_0 co oznacza brak (zanik) dźwięku. Oczywiście, $\lambda/4$ oznacza inny fizyczny punkt dla różnych częstotliwości. Jeśli głowa użytkownika znajdzie się w obszarze takiego miejsca to nie będzie on tej częstotliwości (i wąskiego pasma wokół niej) słyszał. Ilustruje to rys. 8a i 8b. W odległości $\lambda/4$ od ściany nie będzie słyszana ani fala padająca ani odbita. Nie pomoże tu ani zwiększenie wzmacnienia wzmacniacza ani zastosowanie korektora częstotliwości. Ilustruje to rys. 9.



Rys. 9. Niekorzystne usytuowanie słuchacza w pomieszczeniu.

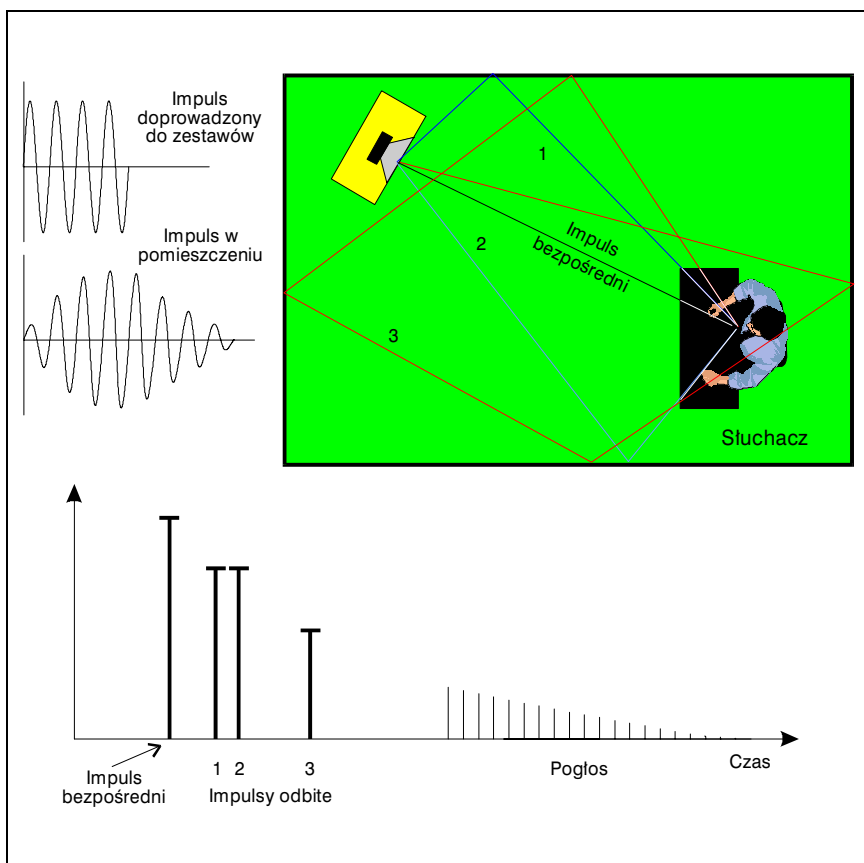
Równie niekorzystny może być przypadek takiego posadowienia się słuchacza, że jego głowa znajdzie się w środku pomiędzy równoległymi ścianami położonymi w odległości λ (będzie też tak w punktach oddległych od ścian o $\lambda/2$ oraz w wielu innych punktach przestrzeni, w której



Rys. 10. Powstawanie dudnienia w pomieszczeniu

odległość między ścianami jest wielokrotnie większa od długości fali). Wystąpi tam sumowanie się fali bezpośredniej i fal odbitych, co spowoduje gwałtowny wzrost ciśnienia (i głośności) dla tej częstotliwości, co słuchacz odczuje jako nieprzyjemne dudnienie (rys. 10).

Ponieważ pomieszczenie mieszkalne oprócz czterech ścian ma jeszcze sufit i podłogę oraz meble i inne wyposażenie więc ilość degradowanych i uwypuklanych częstotliwości jest znaczna. Co więcej, w tym



Rys. 11. Dźwięk w pomieszczeniu mieszkalnym

samym miejscu przestrzeni mogą być degradowane jedne częstotliwości i uwypuklane inne. Na szczęście tylko niewielka część z nich jest mocno uciążliwa i to tylko w pewnych miejscach. Niestety, zgodnie z 1-szym prawem Murphy'ego będą to te miejsca w których użytkownik lubi przebywać najbardziej.

Reasumując, na dźwięk bezpośredni docierający do słuchacza wprost z zestawów głośnikowych nakładają się opóźnione w czasie dźwięki odbite. Dźwięki odbite dochodzą do słuchacza różnymi drogami i podlegają różnym tłumieniom tworząc wraz z sygnałem bezpośrednim obraz dźwiękowy złożony z sygnałów o różnej amplitudzie i o różnym opóźnieniu. Zachodzące zjawiska ilustruje rys. 11.

Wszystkie zasygnalizowane czynniki są źródłem informacji dla naszego aparatu postrzegania dźwięku, w którym oprócz ucha bierze udział zapewne także mózg dokonujący wartościowania występujących zależności. Po odebraniu impulsu bezpośredniego aparat słuchu sprawdza nadchodzące przez ok. 40 ms impulsy odbite pod kątem ich podobieństwa do impulsu bezpośredniego. Jeśli podobieństwo występuje to traktuje je łącznie jako jeden impuls o odpowiednio większym poziomie. Wbrew pozorom, dźwięki odbite są składnikiem pożądanym gdyż dostarczają informacji o położeniu źródła dźwięku w przestrzeni (dźwięki odbite pozwalają zlokalizować położenie źródła nawet tylko przy pomocy jednego ucha) i pozytywnie wpływają na obraz dźwiękowy jeśli tylko są właściwie rozdzielone w przestrzeni i dochodzą do ucha z odpowiednim opóźnieniem. Unikać należy zbyt bliskich odbić (małych opóźnień) co wymaga odsunięcia od zestawów na min. 50 cm wszelkich większych twardych i kanciastych przedmiotów oraz zachowania co najmniej takich samych odległości od ścian.

Pierwsze impulsy odbite wpływają na obszar narostu impulsu t_1 , późniejsze odbicia, już o znacznie mniejszym poziomie, tworzą tzw. pogłos i decydują o czasie zaniku (wybrzmiewania) impulsu dźwiękowego t_2 . Dźwięk bezpośredni pozwala rozpoznać dźwięk i określić jego lokalizację, pierwsze odbicia wpływają na faktyczną głośność, wyrazistość i przestrzenność dźwięku a pogłos informuje o wielkości pomieszczenia i o jego własnościach akustycznych.

Dźwięk wyemitowany do pomieszczenia zanika w nim po określonym czasie zależnym od tłumienia które w nim występuje. Czasem

pogłosu nazywa się okres w którym dźwięk zostanie osłabiony o 60 dB od poziomu pierwotnego który miał w momencie wyłączenia pobudzenia. Określa to wzór:

$$T_{-60} = 6,91 / k_n,$$

gdzie:

k_n – jest współczynnikiem tłumienia zależnym od własności pomieszczenia, rodzaju (gęstości) materiałów z których jest wykonane, lub które się w nim znajdują, wyposażenia itp.

Zastosowanie dodatkowych wykładzin, zasłon, miękkich mebli itp. zwiększa tłumienie a więc skraca czas pogłosu. Zbyt duże wytłumienie pomieszczenia nie jest korzystne gdyż wywołuje głuchość i nienaturalność brzmienia. Równie niekorzystne jest zbyt małe tłumienie gdyż powoduje to długie utrzymywanie się dźwięku dając wrażenie towarzyszącego echa. W szczególnie niekorzystnych warunkach takie echo może nawet wystąpić wyraźnie – spróbujmy klasnąć w dłonie w większym, pustym pokoju. Tłumienia najczęściej wymagają niższe częstotliwości gdyż wyższe częstotliwości tłumi już dostatecznie samo powietrze.

4.2. Rezonanse pomieszczenia

Jeśli którykolwiek z wymiarów pomieszczenia będzie co najmniej równy połowie długości fali dźwiękowej to w pomieszczeniu wystąpi rezonans. Dla częstotliwości 50 Hz długość fali wynosi 6,8 m, a więc rezonans wystąpi dla tej częstotliwości już w pomieszczeniu, w którym jeden z wymiarów wynosi 3,4 m (może to nawet być przekątna pomiędzy przeciwległymi rogami sufitu i podłogi). Częstotliwość 50 Hz może mieć harmoniczne – np. $2 \cdot f = 100$ Hz i $3 \cdot f = 150$ Hz dla których też wystąpią rezonanse. Inne wymiary w pomieszczeniu dawać będą podobne rezonanse dla innych częstotliwości. Poniższa tabela wyszczególnia najbardziej krytyczne częstotliwości rezonansowe (λ i $\lambda/2$) dla kilku wymiarów pomieszczenia.

Tabela 1

Częstotliwość występowania rezonansów
w zależności od wymiarów pomieszczenia

Wymiar - długość, szerokość, lub wysokość	Rezonans $\lambda/2$	Rezonans λ
2,0 m	170 Hz	85 Hz
2,5 m	140 Hz	70 Hz
3,0 m	115 Hz	57 Hz
3,5 m	100 Hz	50 Hz
4,0 m	85 Hz	43 Hz
4,5 m	75 Hz	38 Hz
5,0 m	70 Hz	35 Hz
5,5 m	62 Hz	31 Hz
6,0 m	57 Hz	29 Hz
7,0 m	50 Hz	25 Hz
8,0 m	43 Hz	21 Hz
10,0 m	34 Hz	17 Hz

Bardzo uciążliwe będzie pomieszczenie w kształcie sześciangu, gdyż rezonanse poszczególnych par ścian wystąpią przy tej samej częstotliwości. Spowoduje to szczególnie głębokie wygaszenie częstotliwości rezonansowych w pewnych miejscach przestrzeni, oraz spotęgowanie ich poziomu w innych miejscach. Najkorzystniejszym z możliwych jest przypadek, gdy częstotliwości rezonansowe są w miarę równomiernie rozłożone w całym paśmie częstotliwości, lub przynajmniej kilka rezonansów nie leży blisko siebie. Ze względu na rezonanse korzystne są ściany z materiałów „elastycznych” np. z drewna, muru pruskiego itp. gdyż mają słabsze zdolności odbijania. Ściany wykonane np. z betonu są mniej korzystne gdyż są bardziej sztywne i lepiej odbijają dźwięk. Uzewnętrzanie się rezonansów zależy od wielu czynników:

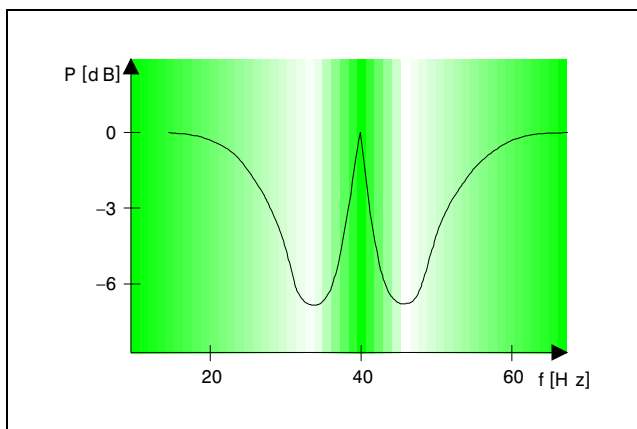
1. Od objętości pomieszczenia. Im mniejsze pomieszczenie tym większe prawdopodobieństwo powstania ostrych uwypukleń i zaników

w zakresie poniżej 600 Hz i tym słabsze jest często odtwarzanie basów.

2. Od rozmiarów ścian. Obok pomieszczenia w kształcie sześcianu równie niekorzystne są pomieszczenia prostopadłościenne na podstawie kwadratu. Korzystne są pomieszczenia w których stosunek boków długość $\times$ szerokość $\times$ wysokość zawiera się w przedziale od 2,3:1,4:1 do 2,6:1,7:1. Korzystne są też pomieszczenia ze ściętym dachem i o podstawie różnej od prostokąta.
3. Od usytuowania zestawów w pomieszczeniu. Posadowienie zestawów bezpośrednio przy ścianie lub w rogach pokoju sprzyja wystąpieniu ostrych rezonansów w obszarze basów. Korzystniejsze jest odsunięcie zestawów od ścian i podłogi co utrudnia ujawnianiu się rezonansów oraz przesuwają je w kierunku wyższych częstotliwości gdzie nie są już tak bardzo uciążliwe. Odsunięcie zestawów od ścian i podłogi może jednak osłabić basy.
4. Od miejsca w którym przebywa słuchacz. Występuje tu sytuacja podobna do usytuowania zestawów. Jeśli to możliwe to słuchacz powinien sprawdzić kilka miejsc nadających się dla odsłuchu zmieniając też ustawienie zestawów i wybrać najkorzystniejsze bądź możliwe do zaakceptowania zarówno ze względu na odsłuch jak i na posadowienie zestawów.
5. Od zaadaptowania pomieszczenia. Drewniana boazeria, gruby i puszysty dywan, makaty na ścianach, zasłony na oknach, przegrody, meble itd. mogą znacznie osłabić rezonanse i zmienić ich częstotliwość. W razie potrzeby zastosować można pochłaniacze dźwięku w postaci np. płyt z materiału dźwiękochłonnego (wełna mineralna) obciągniętych materiałem i ustawionych przy ścianach. Niestety, materiały dźwiękochłonne pobierają energię akustyczną nie tylko w obszarze rezonansów, ale i przy innych częstotliwościach, co może czasem niekorzystnie wpływać na jakość dźwięku i oczywiście istotnie zmniejsza czas pogłosu. Lepsze wyniki uzyskać można przez zastosowanie specjalnych absorberów akustycznych.

Należy tu zauważyć, że rezonansów pomieszczenia nie da się skompensować działaniem korektora. Dobroć pomieszczenia wynosi zazwyczaj od 5 do 10, co oznacza że szerokość pasma rezonansu pomieszczenia jest mała i wynosi kilka Hz. Korektory wpływają natomiast na

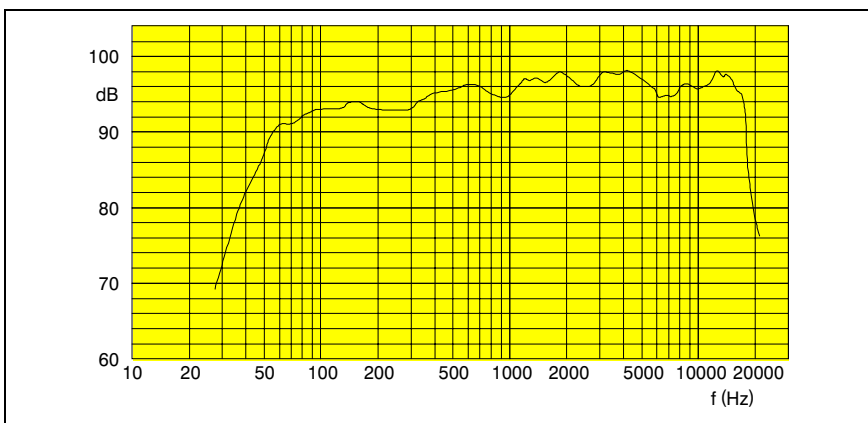
pasmo znacznie szersze – zwykle jednej lub dwu oktaw. Wzajemne relacje pasm korektora i rezonansu w pomieszczeniu ilustruje rys. 12.



Rys. 12. Działanie korektora

5. Usytuowanie zestawów w pomieszczeniu

W praktyce właściwości pomieszczenia odsłuchowego istotnie wpływają na jakość dźwięku w zakresie poniżej 600 Hz. Powyżej tej częstotliwości wpływ pomieszczenia na charakterystykę częstotliwości jest niewielki. Aby ograniczyć niekorzystny wpływ pomieszczenia na charakterystykę częstotliwościową oraz własności impulsowe dźwięku, unikać należy umieszczania zestawów i miejsc odsłuchu w rogach pokoju, lub w jego środku, oraz przy ścianach lub bezpośrednio na podłodze. Właściwości pomieszczenia polepszyć można dzięki wyłożeniu ścian drewnianą boazerią bądź wypełnieniu pomieszczenia stosownie dobranymi meblami. Z reguły korzystnym jest nie stawiać zestawów bezpośrednio na podłodze ale na stojaku, tak aby głośniki niskotonowe oddalić od podłogi. Niekiedy lepiej jest też eksploatować zestawy w pozycji leżącej. W szczególnie niekorzystnych małych pomieszczeniach kwadratowych zestawy zaleca się umieszczać na wysokości min. 1 m nad podłogą, lub nawet w połowie wysokości pokoju i rozsunąć je między sobą na odległość równą połowie długości ściany. W miarę możliwości unikać też należy symetrycznego (w stosunku do pomieszczenia) ustawienia zestawów. Korzystnym jest oddalić zestawy od ścian na około 80 cm.

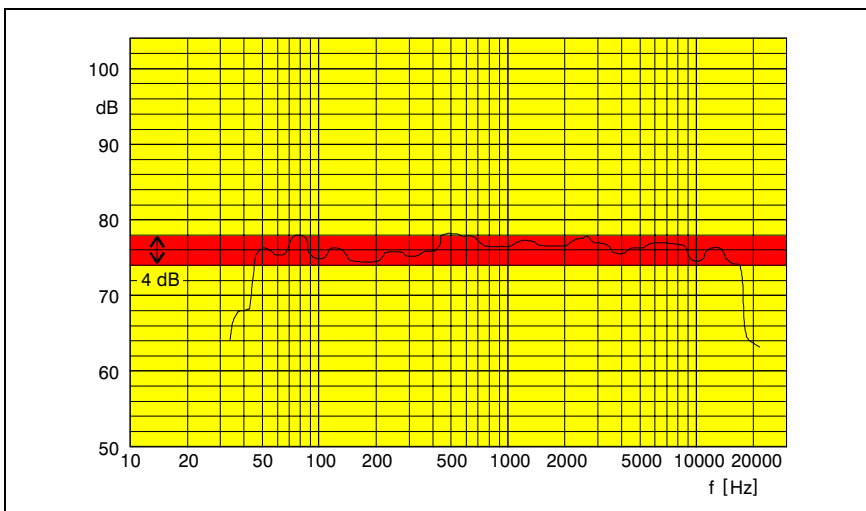


Rys. 13. Charakterystyka odtwarzania zestawu w komorze bezechowej

Przy rozmieszczaniu zestawów należy pamiętać, że oprócz rezonansów występują też odbicia, a optymalne posadowienie wybiera się z uwzględnieniem obu tych zjawisk. W ostateczności i tak najlepsze miejsca dla zestawów i słuchacza wybrać trzeba eksperymentalnie.

Producenci zestawów publikują zwykle charakterystyki odtwarzania zestawów uzyskane w komorze bezechowej (rys. 13).

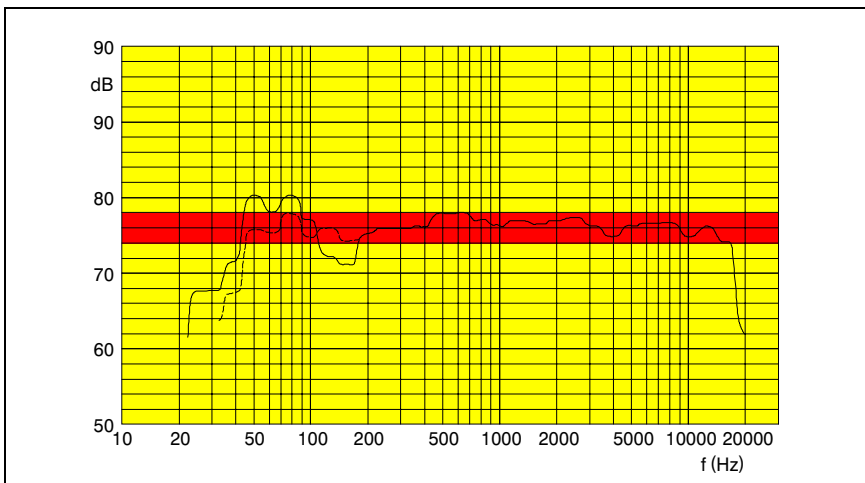
Wpływ pomieszczenia „zwykłego” jest zazwyczaj taki, że powiększeniu ulega poziom odtwarzanych basów i obniżeniu ulega dolna częstotliwość graniczna, czasem nawet aż o 2/3 oktawy. Przykładowo, w pewnym pomieszczeniu najlepsze miejsce na posadowienie zestawów było takie : 60 cm nad podłogą, 80 cm od tylnej ściany i 2 m od ściany bocznej. W położeniu tym uzyskano najbardziej wyważoną charakterystykę odtwarzania, najbardziej zresztą zbliżoną do deklarowanej przez producenta (rys 14).



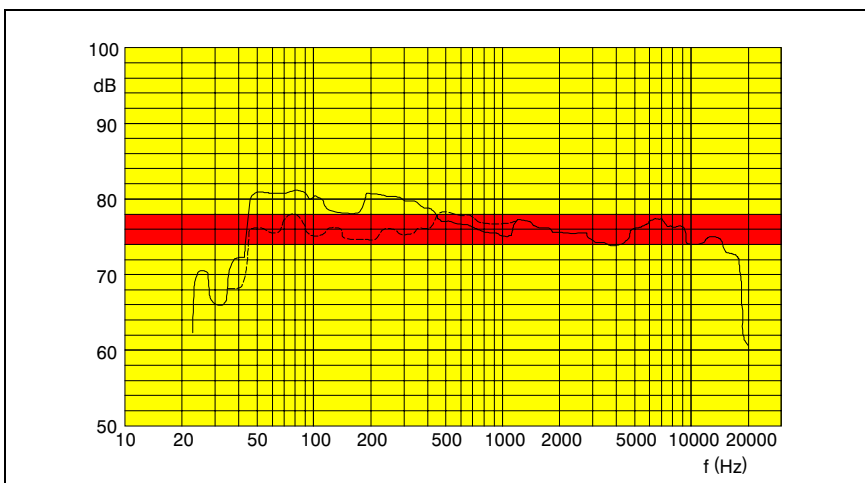
Rys. 14. Charakterystyka odtwarzania zestawu w zwykłym pomieszczeniu przy optymalnym posadowieniu zestawu

Następnie pomierzono charakterystyki przenoszenia przy posadowieniu zestawów na podłodze, przy tylnej ścianie i w rogu pokoju oraz dla niektórych innych kombinacji tych położań. Pomiaru wykazały

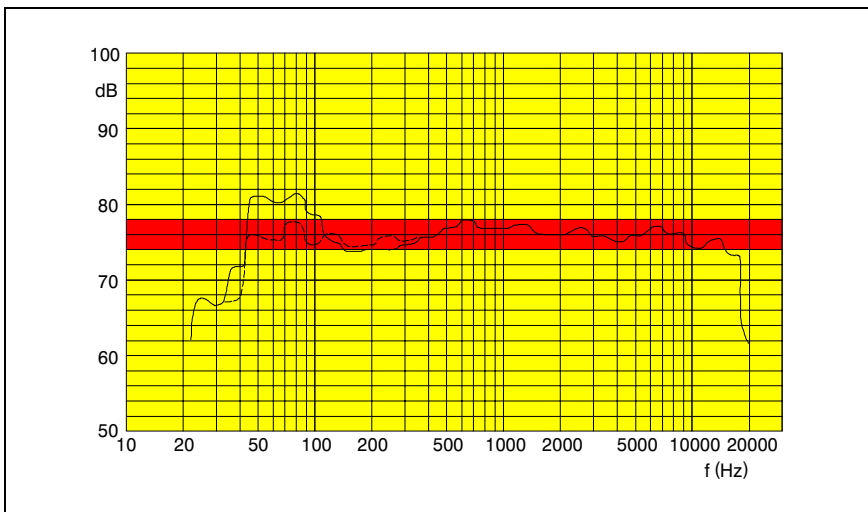
powiększenie poziomu ciśnienia (SPL) o 3 do 9 dB w obszarze poniżej 600 Hz. Omówione zależności zilustrowano na rys.15a do 15g.



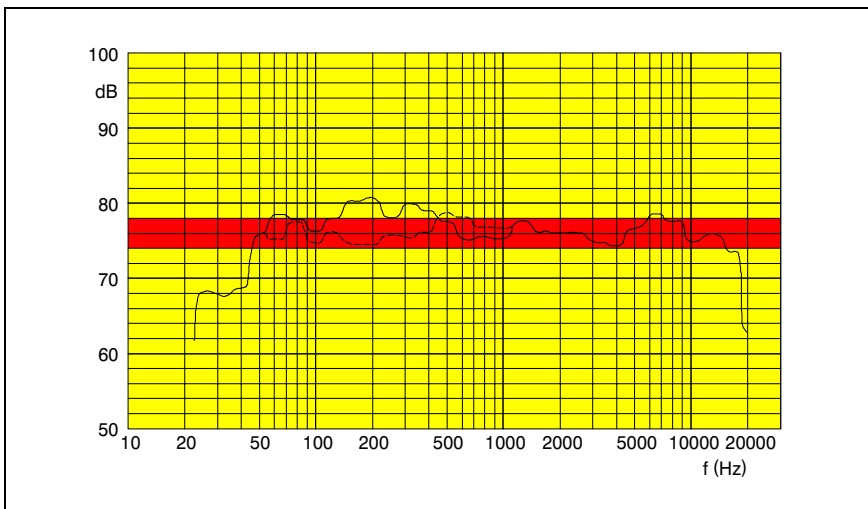
Rys. 15a. Charakterystyki odtwarzania zestawu przy posadowieniu zestawu 60 cm nad podłogą, 30 cm od ściany tylnej i 2 m od ściany bocznej



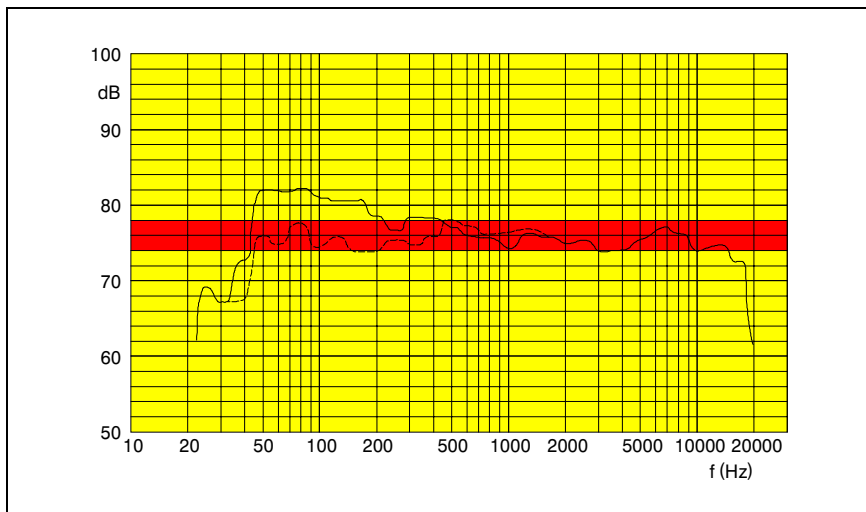
Rys. 15b. Charakterystyki odtwarzania zestawu przy posadowieniu zestawu na podłodze, 30 cm od ściany tylnej i 2 m od ściany bocznej



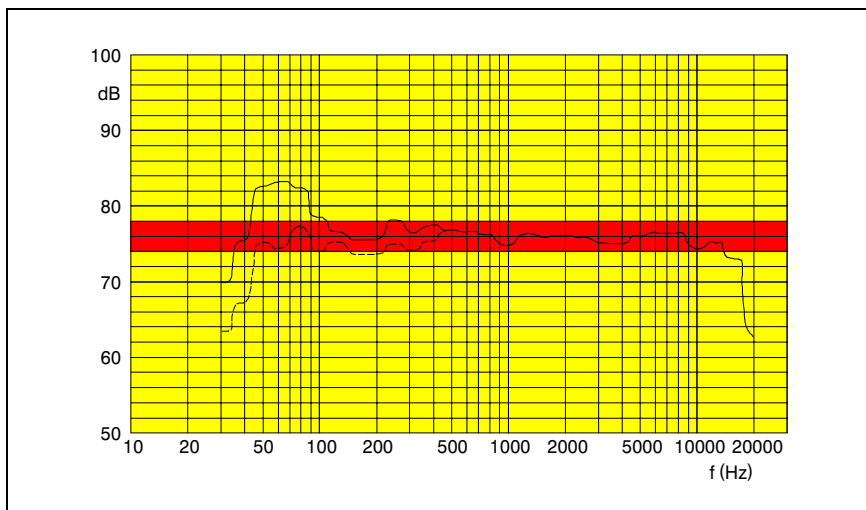
Rys. 15c. Charakterystyki odtwarzania zestawu przy posadowieniu zestawu na podłodze przy ścianie tylnej, 60 cm nad podłogą i 2 m od ściany bocznej



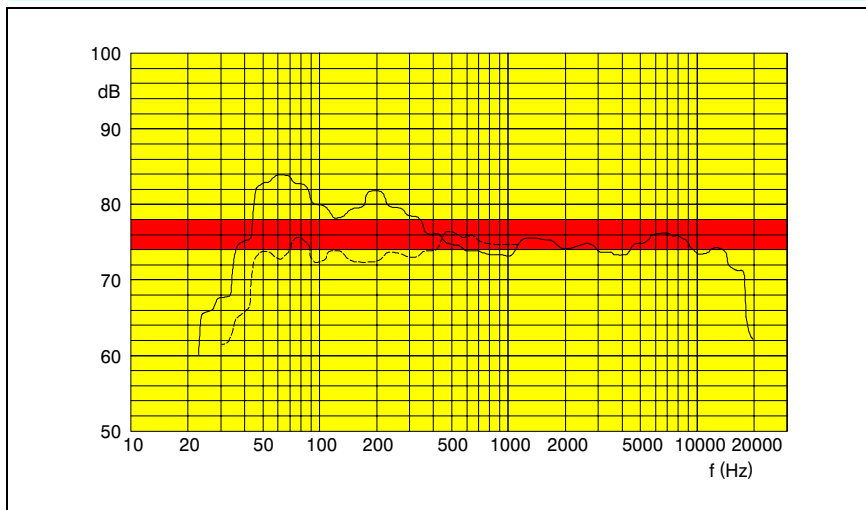
Rys. 15d. Charakterystyki odtwarzania zestawu przy posadowieniu zestawu na podłodze, 80 cm od ściany tylnej i 2 m od ściany bocznej



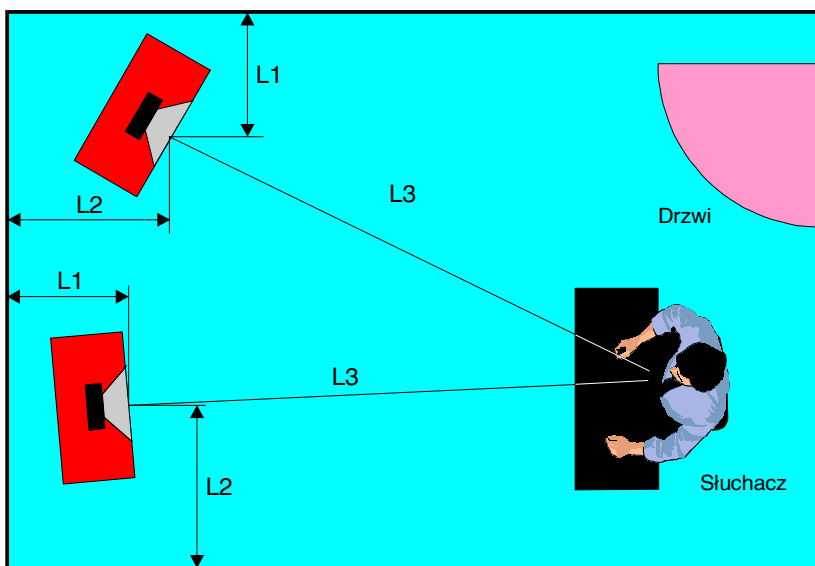
Rys. 15e. Charakterystyki odtwarzania zestawu przy posadowieniu zestawu na podłodze przy ścianie tylnej i 2 m od ściany bocznej



Rys. 15f. Charakterystyki odtwarzania zestawu przy posadowieniu zestawu w rogu 60 cm nad podłogą

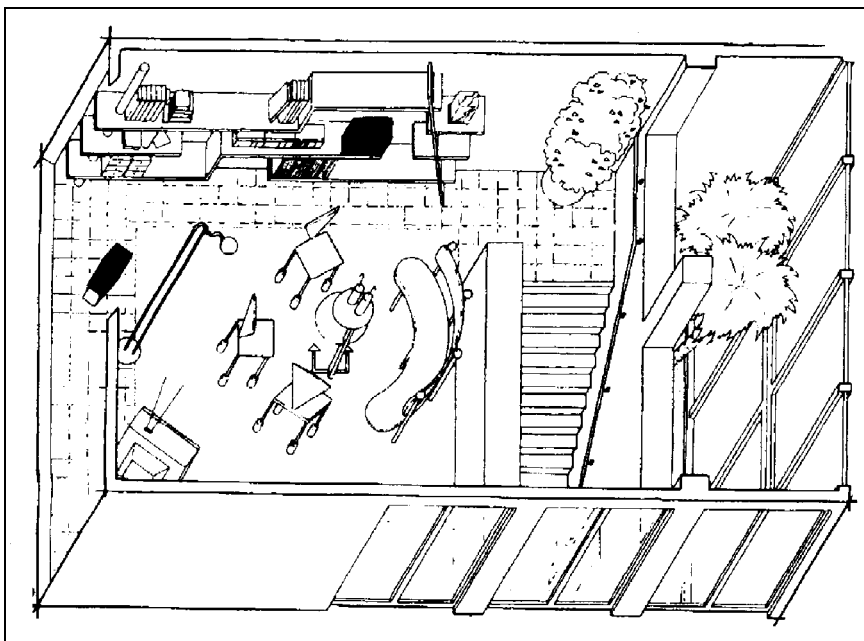


Rys. 15g. Charakterystyki odtwarzania zestawu przy posadowieniu zestawu w narożu pomieszczenia



Rys. 16. Przykład posadowienia zestawów w mniejszym pomieszczeniu

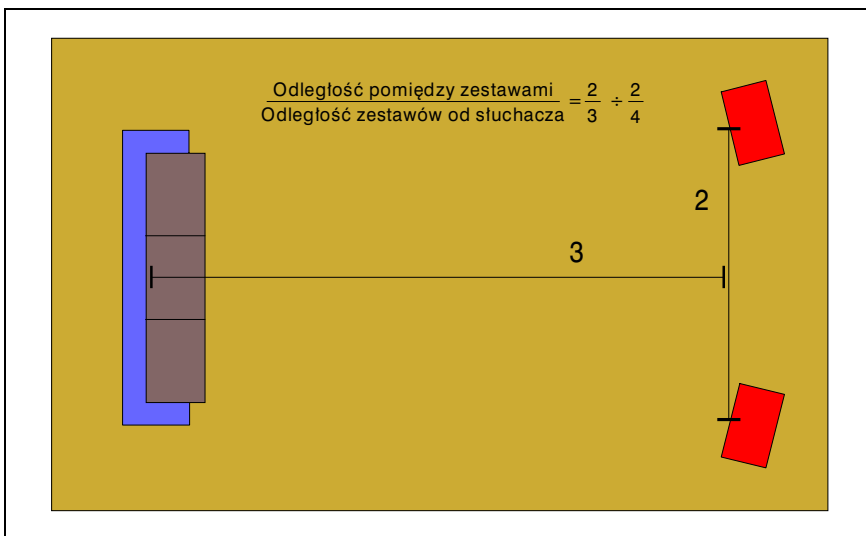
Z przedstawionych wyników można wyciągnąć wniosek, że nawet mniejsze i tańsze zestawy o słabszych osiągnięciach w obszarze basów mogą w pomieszczeniu brzmieć zupełnie dobrze jeśli tylko znajdziemy dla nich optymalne miejsce posadowienia. Przykłady umieszczenia zestawów w pomieszczeniach mieszkalnych przedstawiono na rys. 16 i 17.



Rys. 17. Przykład posadowienia zestawów w większym pomieszczeniu

6. Odtwarzanie stereofoniczne

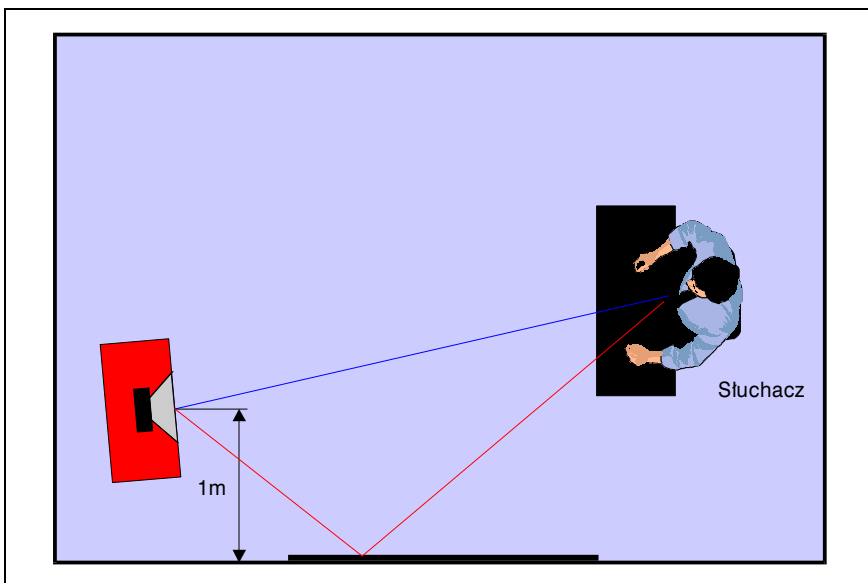
Stereofoniczne odtwarzanie dźwięków pozwala na kierunkową lokalizację (np. od lewej do prawej) instrumentów muzycznych za pomocą co najmniej dwóch zestawów głośnikowych. Rozstawienie zestawów powinno być takie, aby zaistniała tzw. baza stereofoniczna, współmierna z pierwotnym obrazem dźwiękowym. Oczywiście jest, że obszar zajmowany przez duet gitarowy jest zasadniczo inny niż obszar zajmowany przez dużą orkiestrę symfoniczną, trzeba więc będzie przy wyborze rozstawienia zestawów wybrać kompromis, także i ze względu na możliwości lokalowe i ograniczenia wnoszone przez pomieszczenie. Korzystny kompromis uzyskuje się, gdy stosunek odległości zestawów między sobą, a ich odległością od słuchacza zawiera się w ranicach od 2:3 do 2:4. Ilustruje to rysunek 18.



Rys. 18. Odległości zalecane przy odsłuchu stereofonicznym

Oprócz w/w stosunku ważna jest także odległość zestawów od pobliskich ścian. Gdy odległość ta jest mniejsza niż 70 cm, to dźwięki odbite dobiegną do słuchacza ze zbyt małym opóźnieniem (mniejszym od

4 ms) w stosunku do dźwięku bezpośredniego i aparat słuchu zidentyfikuje je nie jako dźwięki odbite, ale jako pochodzące z innego, dodatkowego głośnika. Pogorszy się też charakterystyka przenoszenia (wzrost nierównomierności), oraz właściwości impulsowe postrzeganego dźwięku. Z tego względu korzystne jest takie usytuowanie zestawów aby odległość głośników średnio- i wysokotonowych w zestawach wynosiła ok. 1 m od ścian i mebli, a same głośniki (lub zestawy) były nachylone ku słuchaczowi. Wyjaśnia to rys. 19.



Rys. 19. Usytuowanie zestawu stereofonicznego w stosunku do ściany

Dla obu zestawów należy stosować w przybliżeniu podobne odległości, ale nie powinny one być dokładnie takie same, gdyż równe odległości zwiększają nierównomierność charakterystyki w obszarze basów. Jeśli z jakichś względów odległość ta musi być mniejsza, lub ściany silnie odbijają dźwięk to pomóc może rozwieszenie większej makatki, przysłony itp.

Dla odległości zestawów od ścian przekraczających 1 m odbicia oczywiście też następują, ale słuch jest już w stanie je identyfikować;

poprawiają one zresztą „kierunkowość” tereofonii i są korzystne dla naturalności i wyrazistości brzmienia. Należy tu zwrócić uwagę, aby zastosowane zestawy promieniowały dostatecznie szerokokątnie w całym zakresie częstotliwości średnich i wysokich tj., aby promieniowały dobrze nie tylko do przodu, ale i na boki, np. dla kątów 60° i więcej.

W ogólności należy zadbać, aby słuchacz oprócz dźwięku bezpośredniego, otrzymał również odpowiednią dawkę dźwięków odbitych o właściwym opóźnieniu gdyż tylko wówczas uzyska się wrażenie dobrej przestrzenności dźwięku. Wrażenie takie dość trudno uzyskać zestawami regałowymi, które promieniują jednak głównie falę bezpośrednią. Przy zestawach tych trudne do uniknięcia są też silne odbicia od przeciwległej ściany; dochodzą one do słuchającego od tyłu z dużym poziomem, traktowane są przez słuch jako nieprzyjemne zakłócenia i powinny być wyeliminowane.

W stereofonii ważne jest nie tylko to aby dźwięk odtwarzać przestrzennie ale także to aby solista lub mówca był słyszany ze środka między głośnikami. Wystąpi to tylko wówczas gdy fale dźwiękowe z obu zestawów będą miały w miejscu odsłuch taką samą amplitudę i fazę. Warunek ten narzuca ostre wymagania nie tylko na identyczność zestawów ale przede wszystkim na wybór miejsca posadowienia zestawów i usytuowania słuchacza. Jeszcze trudniej w pomieszczeniu mieszkalnym jest poprawnie zainstalować instalację stereofoniczną złożoną z trzech lub czterech zestawów względnie instalację pseudokwadrofoniczną. Instalacje takie zwiększają wprawdzie realizm przekazywanych audycji, wymagają jednak zwykle lepiej przystosowanych pomieszczeń, niż to ma miejsce w przypadku pokoju mieszkalnego.

W typowym pomieszczeniu mieszkalnym poprawne rozmieszczenie zestawów głośnikowych jest z różnych powodów utrudnione, lub nawet niemożliwe. Zwykle zestawy trzeba przybliżyć do ścian, co natychmiast uwypukla szereg niekorzystnych efektów, zwłaszcza w dolnej części pasma. Jednak normalnie niekorzystny efekt zbliżenia do ścian można wykorzystać jeśli zastosuje się specjalny trzeci człon zestawu, tzw. subwoofer. Subwoofer przenosi wówczas pasmo najniższe np. poniżej 100 Hz (w którym efekt orientacji przestrzennej źródła dźwięku jeszcze nie zachodzi), a dwa pozostałe zestawy, tzw. satelity, przenoszą pasmo wyższe. Usytuowanie zestawów satelickich nie jest tak krytyczne jak

zwykłych, a miejsce umieszczenia subwoofera można wybrać ze względu na uwypuklenie basów, unikanie szczególnie silnych rezonansów itp.

Umieszczenie subwoofera na podłodze podnosi odtwarzanie basów o ok. 3 dB w stosunku do swobodnego zawieszenia go w przestrzeni, przysunięcie na podłodze do ściany zwiększa odtwarzanie basów o ok. 6 dB, a umieszczenie go w rogu pokoju podnosi basy nawet o 9 dB. Umiejętne zastosowanie subwoofera może istotnie pomóc w nagłośnieniu zwłaszcza małych pomieszczeń, w których nie ma możliwości właściwego rozstawienia, lub w których brak jest miejsca dla dużych zestawów. Szczególnie cenna jest właściwość zmiany poziomu odtwarzania basów oraz niekrytyczność posadowienia, gdyż częstotliwości, które odtwarza subwoofer rozchodzą się bezkierunkowo. Tym niemniej, miejsce posadowienia musi być tak wybrane, aby unikać pobudzania rezonansów w pomieszczeniu. Korzystnym kompromisem ze względu na charakterystykę przenoszenia i rezonanse jest posadowienie subwoofera 30 cm nad podłogą, 50 cm od ściany i ok. 1,2 m od następnej ściany.

7. Zestawy głośnikowe

Jak wiadomo, dobre odtwarzanie audycji dźwiękowych wymaga, oprócz dobrego akustycznie pomieszczenia, również i dobrych zestawów. Ważne jest też samo źródło dźwięku, a raczej jakość materiału dźwiękowego, gdyż tego czego w tym materiale nie będzie, tego nie odtworzy żaden zestaw w najdoskonalszym nawet pomieszczeniu.

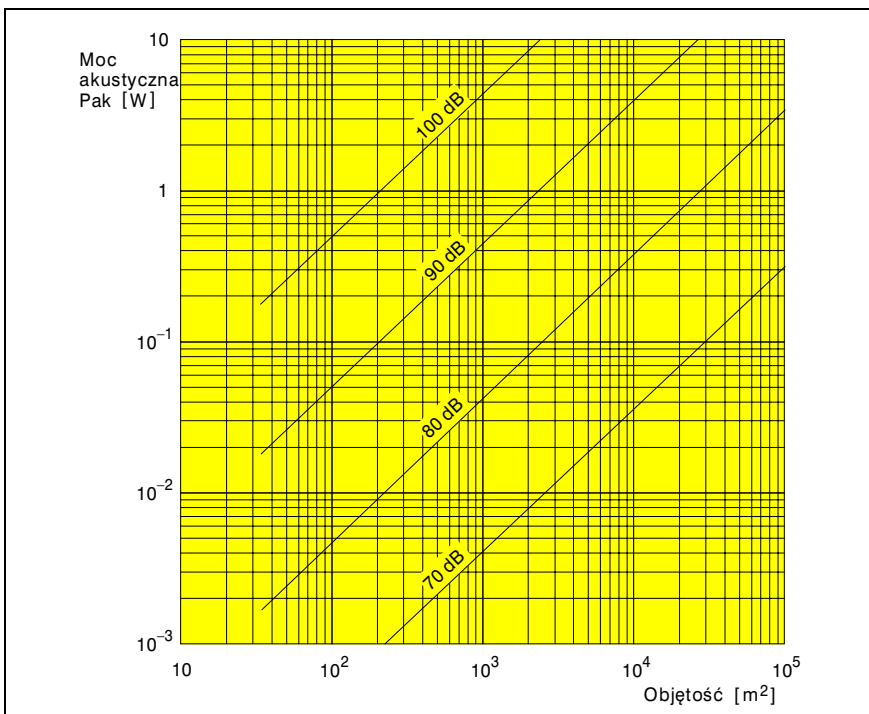
Użytkownik ma zwykle duże trudności przy wyborze zestawów optymalnych ze względu na indywidualne potrzeby i możliwości eksploatacyjne. Jeśli wybór zestawów ze względu na wielkość, kolor obudowy, czy inne walory estetyczne nie sprawia większych kłopotów, to już właściwy wybór ze względu na parametry sprawia istotne trudności. Na ogół pod uwagę bierze się jedynie moc i impedancję znamionową. Mimo to, już np. wybór ze względu na moc może budzić istotne wątpliwości. Poniższe rozważania postarają się pomóc przyszłym nabywcom w podjęciu bardziej optymalnych decyzji.

7.1. Nagłośnienie pomieszczenia i zapotrzebowanie na moc, efektywność zestawów głośnikowych

Jak już wspomniałem, maksymalny poziom ciśnienia dźwięku (SPL) potrzebny do odtworzenia np. muzyki o dynamice 65 dB w pomieszczeniu o poziomie hałasu 40 dB wynosi 105 dB. Poziom mocy akustycznej, którą trzeba wypromieniować do pomieszczenia dla uzyskania wymaganego SPL zależy głównie od jego objętości i własności akustycznych (odbić i tłumienia). Aby więc wyznaczyć potrzebną moc należy najpierw obliczyć objętość pomieszczenia. Dla pomieszczenia prostopadłościennego objętość wyznacza się mnożąc przez siebie długość, szerokość i wysokość pomieszczenia. Wymaganą moc akustyczną P_{ak} dla typowego pomieszczenia wyznaczyć można z wykresu (rys. 20).

W dalszych rozważaniach pomocna będzie deklarowana przez producenta efektywność zestawu, a raczej uzależniona od niej sprawność. Producenci zwykle deklarują średnie ciśnienie SPL (zwane efektywno-

ścią) zmierzone w odległości 1 m przy pobudzeniu zestawu mocą elektryczną 1 W. W Tabeli 2 wartości sprawności zestawu w zależności od efektywności.



Rys. 20. Moc potrzebna do nagłośnienia pomieszczenia

Efektywność zestawu deklarowaną przez producenta (należy też brać pod uwagę dolną tolerancję) odczytać można z tabliczki znamionowej, lub danych katalogowych zestawu. Dla danej efektywności z tabeli odczytujemy odpowiadającą jej sprawność zestawu. Jeśli teraz podzielimy wyznaczoną uprzednio moc akustyczną przez sprawność zestawu, to otrzymamy wymaganą minimalną moc znamionową wzmacniacza P_w .

$$P_w = P_{ak} / \text{Sprawność}$$

Przykład:

Mamy pomieszczenie o długości 7,4 m, szerokości 5,4 m i wysokości 2,5 m, które chcemy nagłośnić do poziomu 100 dB. Obliczamy objętość pomieszczenia:

$$V = 7,4 \cdot 5,4 \cdot 2,5 = 100 \text{ m}^3$$

Z wykresu na rysunku 20 dla powyższej objętości i poziomu 100 dB otrzymujemy moc akustyczną 0,5 W. Kupiliśmy zestawy o efektywności 88 dB, mają one więc sprawność 0,4%; wymagana więc moc wzmacniacza wynosi 125 W! Gdybyśmy mieli zestawy o efektywności 90 dB (sprawność 0,6%) to wystarczający byłby już wzmacniacz o mocy ok. 83 W.

Tabela 2

Zależność sprawności zestawu od jego efektywności

Efektywność 1 W/1 m	Sprawność
112 dB	100 %
106 dB	25 %
103 dB	12,5 %
100 dB	6,2 %
98 dB	4,0 %
96 dB	2,5 %
94 dB	1,6 %
92 dB	1,0 %
90 dB	0,6 %
88 dB	0,4 %
86 dB	0,25 %
84 dB	0,16 %
82 dB	0,10 %
80 dB	0,06 %
77 dB	0,03 %

Występuje tu następująca ogólna zależność: Zmniejszenie efektywności zestawów o 3 dB lub zwiększenie SPL w pomieszczeniu o 3 dB wymaga podwojenia mocy wzmacniacza. Podobnie, dopuszczenie SPL niższego o 3 dB, lub zakup zestawów o efektywności wyższej o 3 dB, pozwala zastosować wzmacniacz o dwukrotnie niższej mocy. Ponieważ moc elektryczna zestawów będzie podobna do mocy wzmacniacza, to gdy zechcemy słuchać muzyki z większą dynamiką, lub zastosować zestawy o mniejszej efektywności, przyjdzie nam zapłacić podwójnie - za moc wzmacniacza i moc zestawów głośnikowych.

7.2. Obciążalność zestawów głośnikowych

Poprzednie rozważania pozwoliły określić niezbędną moc wzmacniacza. Czytelnik zwrócił też zapewne uwagę na niską sprawność zestawów – 0,4 czy 0,6% to doprawdy niewiele. Niestety, przetwarzanie energii elektrycznej w energię dźwięku odbywa się z niewielką sprawnością. Np. przeciętna sprawność 0,5% oznacza, że w zestawie zasilanym mocą 100 W aż 99,5 W zostanie zamienione w niepożądane ciepło a tylko 0,5 W stanowić będzie użyteczna moc akustyczna.

Jednym z kryteriów stosowanych przy ocenie zestawów jest moc zestawu. W operowaniu pojęciem mocy panuje wielkie zamieszanie. Oferenci sprzętu, a często i producenci, do określania mocy stosują często im tylko znane definicje; przy kupnie więc należy bardzo starannie przestudiować tabliczki znamionowe lub dane techniczne zestawów. W razie wątpliwości należy od sprzedawcy żądać dodatkowych informacji, gdyż niedopowiedzenia mogą nas drogo kosztować.

A oto kilka najczęściej używanych definicji mocy:

- **Znamionowa moc szumowa (moc znamionowa)** – jest to moc elektryczna kształtowanego szumu różowego, która obciążając zestaw nieprzerwanie przez 100 godzin nie spowoduje żadnych uszkodzeń termicznych, ani mechanicznych zestawu, a parametry zestawu będą zgodne z wymaganiami,
- **Krótkotrwała moc maksymalna** – jest to moc elektryczna kształtowanego szumu różowego o czasie trwania 1 sek., który doprowadzony do zestawu 60 razy z przerwami o długości 1 min. nie spowoduje trwałego uszkodzenia zestawu,

- **Długotrwała moc maksymalna** – jest to moc elektryczna kształtowanego szumu różowego o czasie trwania 1 min., który przykładany do zestawu 10 razy z przerwami o długości 2 min. nie spowoduje trwałego uszkodzenia zestawu,
- **Znamionowa moc sinusoidalna** – jest to moc ciągłego sygnału sinusoidalnego z zakresu znamionowego pasma częstotliwości, która doprowadzona do zestawu na określony przez producenta czas (maks. 1 godzinę) nie spowoduje trwałych uszkodzeń termicznych ani mechanicznych zestawu.
- **Moc muzyczna** – jest to moc krótkotrwałego (2 sek) sygnału sinusoidalnego z zakresu częstotliwości od 250 Hz do dolnej częstotliwości granicznej, która nie spowoduje słyszalnego dobijania drgającej cewki lub membrany, lub ujawnienia się innych wyraźnie słyszalnych zakłóceń lub zniekształceń.

Oczywiście, ten sam zestaw będzie miał różne wartości liczbowe dla różnych w/w definicji mocy. W dalszej części opisu pod pojęciem mocy zestawu rozumieć się będzie znamionową moc szumową.

Co to jest moc szumowa? W normalnych warunkach program użytkowy (np. audycja muzyczna) składa się z wielu przebiegów o różnej częstotliwości, amplitudzie i fazie występujących jednocześnie, których moc maleje ze wzrostem częstotliwości. Sygnał taki symuluje się tzw. szumem różowym wytwarzanym przez odpowiedni generator. Sygnał szumu różowego cechuje się stałą mocą przypadającą na każdą oktawę - tak więc moc przypadająca na pasmo od 100 do 200 Hz będzie taka sama jak moc przypadająca na pasmo od 10 do 20 kHz. Symuluje się też własności typowego wzmacniacza sterującego zestaw, a więc kształtuje się odpowiednio charakterystykę częstotliwościową przy pomocy filtra pasmowego oraz charakterystykę amplitudową poprzez obcinanie szczytów przy pomocy ogranicznika amplitudy.

Moc doprowadzaną do zestawu określa się ze wzoru:

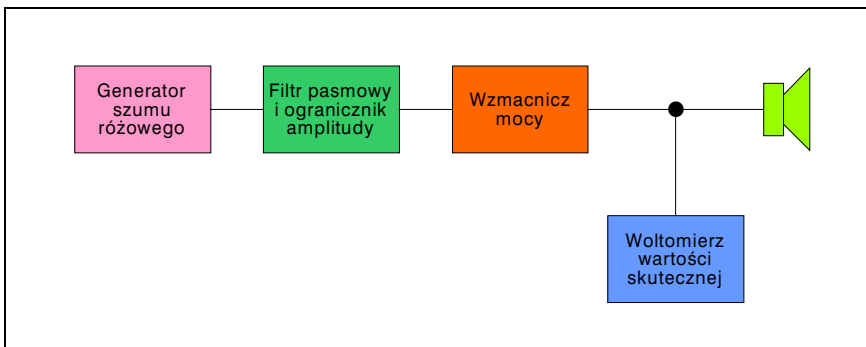
$$P = U^2/R$$

gdzie:

U – jest wartością skuteczną napięcia sygnału szumowego doprowadzonego do zestawu, w woltach,

R – jest impedancją znamionową zestawu, w omach.

Rysunek 21 podaje typowy układ pomiarowy do sprawdzania mocy znamionowej.

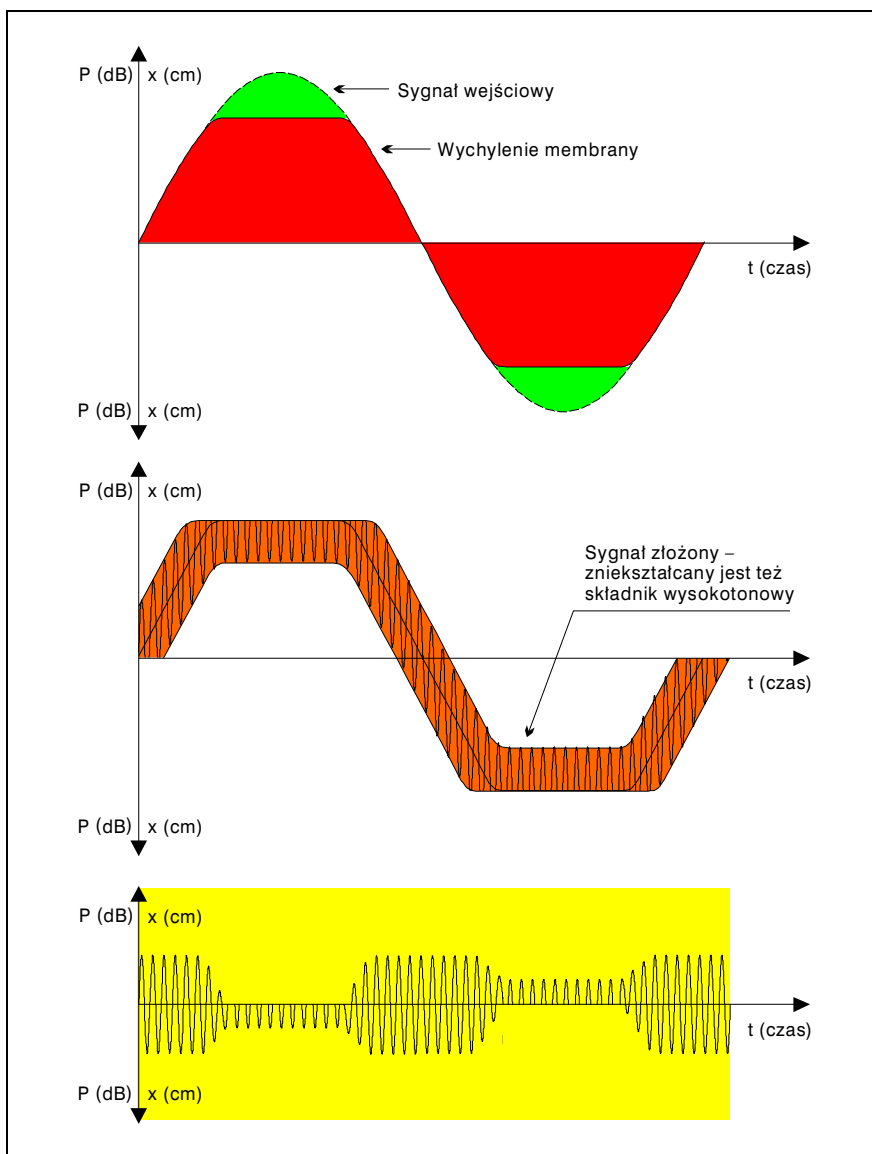


Rys. 21. Układ pomiarowy do sprawdzania mocy znamionowej zestawu

Zgodnie z definicją, moc znamionowa zestawu pozwala jedynie wnioskować o długotrwałych skutkach eksploatacji zestawu z dużą mocą; można tu przyjąć, że moc doprowadzona ze wzmacniacza nie powinna przekraczać tej mocy. Jeśli więc moc znamionowa zestawu wynosi 100 W, to moc dostarczana ze wzmacniacza nie powinna być wyższa. Moc zestawu nie mówi nam nic o innych parametrach, takich jak np. zniekształcenia czy subiektywna jakość dźwięku, a o maksymalnej głośności zaś tylko w powiązaniu z efektywnością i objętością pomieszczenia.

Powszechnie uważa się, że zestawy nie będą przeciążane, jeśli tylko ich moc będzie wyższa od mocy wzmacniacza. Nie jest to słuszne, gdyż np. wzmacniacz o mocy 50 W może nawet łatwiej uszkodzić zestaw o mocy 100 W, niż wzmacniacz o mocy 200 W. Przyczyną jest to, że mały wzmacniacz przy większych głośnościach jest łatwiej przesterować niż wzmacniacz o dużej mocy. Przy przesterowaniu występuje obcinanie wierzchołków przebiegu (tzw. clipping) co ilustruje rysunek 22.

Rysunek pokazuje w jaki sposób odkształcany jest sygnał o małej częstotliwości oraz sygnał o większej częstotliwości jeśli mamy do czynienia z dźwiękiem złożonym, co też zazwyczaj ma miejsce. W czasie gdy występuje obcinanie, sygnał m.cz. ma stałą wartość,



Rys. 22. Zjawiska występujące przy przesterowaniu wzmacniacza

przez cewkę głośnika płynie prąd, ale cewka nie porusza się. Cewka jest więc podgrzewana ale ponieważ nie porusza się to słabo oddaje ciepło i jej temperatura wzrasta. Wzrost temperatury cewki może spowodować mięknięcie kleju którym uzwojenie jest przyklejone do karkasu. Występujące siły mogą spowodować lokalne zwiększenie średnicy i w konsekwencji zablokowanie się cewki w szczelinie magnetycznej, które prowadzi już nieuchronnie do spalenia się cewki – zwykle głośników niskotonowych.

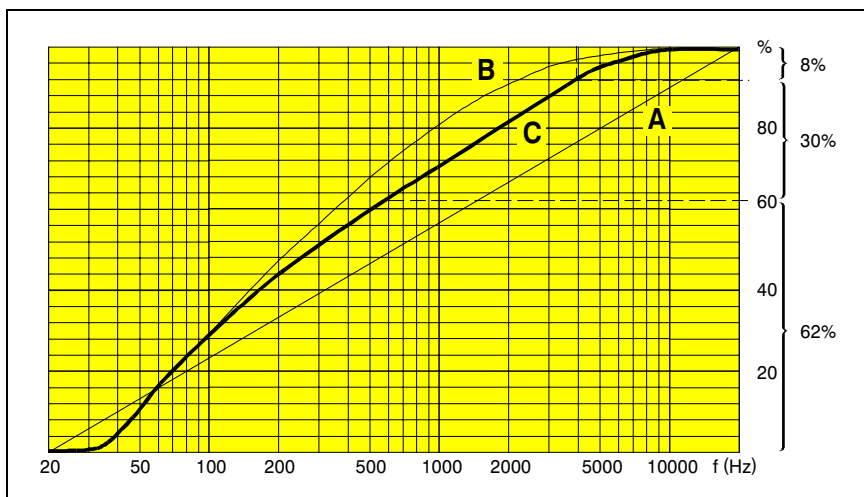
Odształcony sygnał zawiera więcej składowych o wyższych częstotliwościach niż to występuje w sygnale prawidłowym. Także wzmacniacz pracujący w obcinaniu może też sam generować przebiegi o wyższych, ponadakustycznych częstotliwościach. Oba te czynniki mogą łatwo spowodować przeciążenie głośników wysokotonowych i szybkie ich zniszczenie.

Jeśli teraz w tych samych warunkach wzmacniacz o mocy 200 W wysterujemy do tej samej głośności co poprzednio wzmacniacz 50 W to obcinanie oczywiście jeszcze nie wystąpi. Może się wprawdzie zdarzyć, że moc dostarczana do zestawów będzie w impulsach na tyle duża, że chwilowo przeciąży zestaw ale ponieważ będą to przebiegi „normalne”, więc co najwyżej wzrosną zniekształcenia. Oczywiście, przy dłuższym przeciążeniu również i w tym przypadku można zestawy uszkodzić.

W praktyce korzystnym okazało się takie dobieranie wzmacniacza, aby jego moc (na kanał) była równa lub większa od mocy zestawu.

Nieporozumienia z mocą mogą powstać i z innego powodu. Jeśli mamy np. zestaw o mocy 100 W i znamionowym paśmie częstotliwości od 40 Hz do 20 kHz to nie oznacza to wcale, że zestaw można obciążyć mocą 100 W przy każdej częstotliwości z tego zakresu. Próba obciążenia zestawu już tylko mocą 10 W przy częstotliwości 10 kHz może doprowadzić do jego uszkodzenia. Bierze się to stąd, że owe 100 W jest mocą szumu różowego i w specyficzny sposób obciąża zestaw jednocześnie w całym paśmie częstotliwości akustycznych. A więc w tym samym czasie pobudzane i obciążane są wszystkie głośniki zestawu i dopiero suma tych obciążeń w całym paśmie daje owe 100 W. Oczywiście, żaden z głośników nie jest obciążany mocą 100 W; moc obciąż-

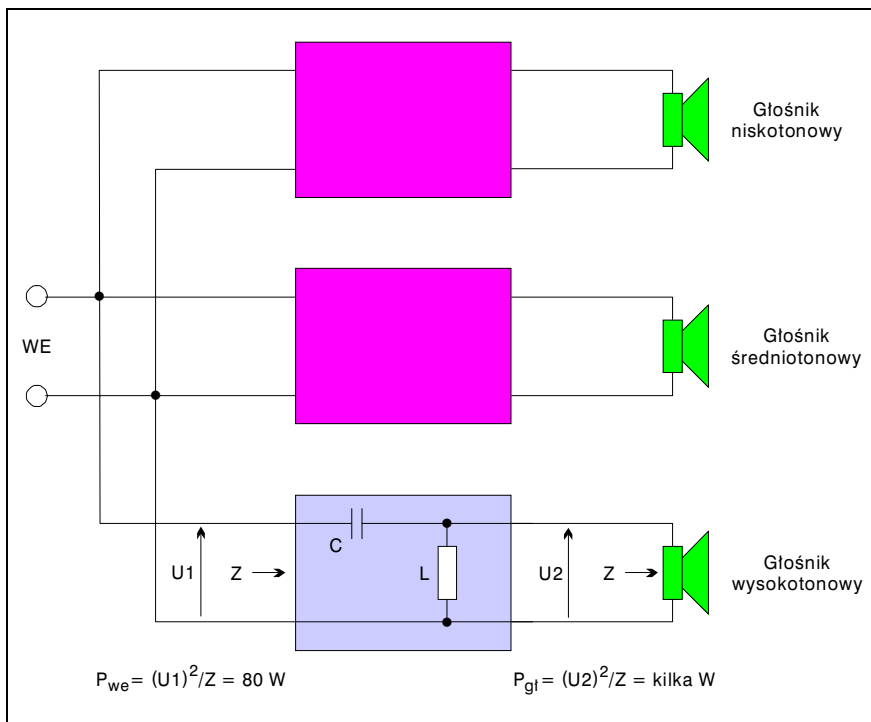
zająca poszczególne głośniki jest mniejsza i zależy od tego jaki obszar częstotliwości głośnik pokrywa i jak szerokie jest pasmo tych częstotliwości. Rozdział pasma zależy od tzw. częstotliwości podziału zwrotnicy, a więc od konstrukcji zestawu i zależy od m. in. od własności zastosowanych głośników. Na rys. 23 przedstawiono uśrednione charakterystyki mocy szumu różowego (A), muzyki klasycznej (B) oraz muzyki rozrywkowej (C) w funkcji częstotliwości.



Rys. 23. Podział mocy w paśmie akustycznym

W zestawie trójdrożnym typowymi częstotliwościami podziału są 600 Hz i 4 kHz (można spotkać też inne częstotliwości podziału). Jeśli pominiemy moc traconą w samej zwrotnicy, to zgodnie z wykresem dla szumu różowego na głośnik niskotonowy przypadnie prawie 50% całej mocy, na głośnik wysokotonowy ponad 22%, a na głośnik średniotonowy reszta, tj. ok. 28%. Przy muzyce rockowej podział będzie inny, bardziej obciążony będzie głośnik niskotonowy, a mniej wysokotonowy – zwykle też na taką moc dobierany jest głośnik wysokotonowy. Współczesne źródła sygnału, np. płyty kompaktowe mogą obciążać głośnik wysokotonowy silniej, w sposób zbliżony do szumu różowego.

Reasumując, nasz trójdrożny zestaw o mocy 100 W i częstotliwości podziału jw. powinien być wyposażony w głośnik niskotonowy o obciążalności ok. 60 W, średniotonowy o obciążalności ok. 30 W i wysokotonowy o obciążalności ok. 20 W. Gdybyśmy jednak rozebrali zestaw i sprawdzili napisy na głośnikach to prawdopodobnie tylko głośnik niskotonowy oznaczony byłby zbliżoną wartością. Jest tak dlatego, że producenci głośników średnio- i wysokotonowych prawie nigdy nie podają obciążalności samego głośnika. Z reguły określana jest moc doprowadzana do wejścia czwórnika poprzedzającego głośnik. Czwórnik ten stanowią zalecane przez producenta elementy zwrotnicy odpowiedzialne za kształtowanie charakterystyki częstotliwościowej zestawu, a więc i obciążalności danej gałęzi zestawu. Ilustruje to rysunek 24.



Rys. 24. Określanie mocy głośników średnio- i wysokotonowych

Różnica pomiędzy mocą obciążającą głośnik a mocą podawaną przez producenta jest w istocie bardzo duża. Np. głośnik wysokotonowy deklarowany jako 80 W może być obciążany w paśmie powyżej ok. 5 kHz mocą co najwyżej kilku watów. Przy aplikowaniu głośników średnio-, a szczególnie wysokotonowych baczna uwagę należy zwrócić na to, aby głośniki te nie pracowały poniżej dolnej częstotliwości granicznej określonej przez producenta – podanej bądź bezpośrednio jako wartość liczbowa bądź też poprzez podanie wartości elementów czwórnik (L, C i innych). Już niewielkie przesunięcie w kierunku niższych częstotliwości (np. z 6 kHz na 4 kHz) może podwoić moc wydzielaną na głośniku wysokotonowym. Ponieważ głośniki wysokotonowe muszą mieć lekki układ drgający, a więc i lekką cewkę, dlatego też ich cewki mają małą średnicę i nawinięte są cienkim drutem. Obciążalność elektryczna to głównie odporność na wydzielane ciepło, jest ona tym większa im większa jest średnica cewki, im większa jest średnica drutu i im bardziej wytrzymałe są zastosowane kleje.

Jak widać, z natury rzeczy trudno uzyskać dużą obciążalność głośników wysokotonowych, a więc często, mimo najbardziej poprawnej aplikacji, można go stosunkowo łatwo uszkodzić wskutek nieumiejętnej eksploatacji. Już np. dopuszczenie do obcinania we wzmacniaczu może zwiększyć poziom mocy w obszarze pracy głośnika wysokotonowego. Jeśli przy tym podniesiemy poziom głośności w obszarze tonów wysokich regulatorem barwy lub korektorem, to do zniszczenia zestawów jest już blisko, zwłaszcza jeśli do tego wysterujemy zestawy do poziomu zbliżonego do ich mocy znamionowej.

Obszar tonów wysokich łatwo przeciążyć także od strony źródła. Dużą moc w obszarze tonów wysokich ma tzw. szum biały. Sygnał tego typu występuje np. w tunerze UKF w obszarze między stacjami, przy odbiorze bardzo słabych stacji, lub przy niedokładnym dostrojeniu. Równie niebezpieczne dla głośników wysokotonowych mogą być sprzężenia elektroakustyczne (gwizdy) występujące pomiędzy zestawami a mikrofonem przy nieumiejętnym używaniu tego ostatniego; podobny efekt może wystąpić przy odtwarzaniu płyt gramofonowych.

Reasumując, aby uniknąć uszkodzenia głośników wysokotonowych, zaleca się unikanie eksploatacji zestawów przy maksymalnej mocy

i podniesionych tonach wysokich. Zasadą powinno być, że jeśli zestaw jest w pełni obciążony, to charakterystyka przenoszenia wzmacniacza nie powinna być uwypuklana. Jeśli uwypukla się jakaś część pasma np. o 10 dB to o tyle samo należy co najmniej obniżyć maksymalną występowalność zestawu. Podobnie, w czasie strojenia tunera zaleca się włączyć wyciszanie (muting), a przy używaniu mikrofonu zaczynać pracę od małej głośności. To ostatnie zalecenie jest zresztą słuszne w każdym przypadku. Przy okazji należy pamiętać, że zwykłe zestawy głośnikowe nie są przystosowane do nagłaśniania przestrzeni otwartej. Praca w tych warunkach pociąga za sobą szczególnie duże ryzyko uszkodzenia i wymaga zestawów do tego przystosowanych.

Obciążalność zestawów limitowana jest nie tylko mocą, tzn. temperaturą cewek głośników, ale również mechanicznie, ze względu na dopuszczalne wychylenie membrany. Duże wychylenia układu drgającego są zwykle krytyczne w zakresie poniżej 100 Hz, dotyczą więc głośników niskotonowych. Maksymalne wychylenie membrany limitują zwykle dwa czynniki: Jakość zawieszenia i centrowania układu drgającego oraz stosunek szerokości nawoju cewki do długości szczeliny magnetycznej. Zawieszenie membrany tworzy zewnętrzny pierścień którym membrana przytwierdzona jest do kosza. Zawieszenie ma umożliwić membranie jedynie ruch do przodu lub do tyłu i jednocześnie zapobiec ruchom na boki. Centrowanie cewki w szczelinie magnetycznej zapewnia głównie tzw. resor, który powinien zapewnić aby cewka, nawet w skrajnych wychyleniach pozostawała w środku szczeliny. Niestety, m. in. ze względu na nieuniknione niejednorodności materiałów jest tak tylko w pobliżu położenia spoczynkowego cewki. Zawieszenie i resor powinny także zapewnić powrót układu drgającego do położenia spoczynkowego zaraz po zaniku pobudzenia.

Parametrem charakteryzującym właściwości zwrotne zawieszenia i resora jest tzw. podatność. Im mniejsza podatność, tym sztywniejsze prowadzenie układu drgającego i tym lepiej zabezpieczona jest jego centryczność. Zbyt sztywne zawieszenie hamuje jednak nadmiernie membranę, co niekorzystnie ogranicza wychylenie zmniejszając poziom głośności (efektywność).

Poniższy wzór na wychylenie podaje wzajemne zależności:

$$X_1 + X_2 = 1,5 \cdot (\text{Pak})^{1/2} / f^2 \cdot S_m,$$

gdzie:

$X_1 + X_2$ – suma wychylenia membrany do przodu i do tyłu, w metrach,

Pak – wymagana moc akustyczna, w watach,

f – częstotliwość, w hercach,

S_m – powierzchnia czynna membrany, w m^2 .

Jak widać, wychylenie membrany musi być tym większe im większa jest wymagana moc akustyczna, im mniejsza jest powierzchnia (średnica) membrany i im mniejsza jest częstotliwość przy której chcemy tą moc uzyskać.

Jeśli, dla przykładu, mamy zestaw w którym w gałęzi niskotonowej zastosowano jeden głośnik rozmiaru 25 cm (średnica czynna membrany ok. 21 cm, powierzchnia czynna ok. $346,4 \text{ cm}^2$) to dla uzyskania 0,5 W mocy akustycznej przy 60 Hz suma wychyleń wyniesie:

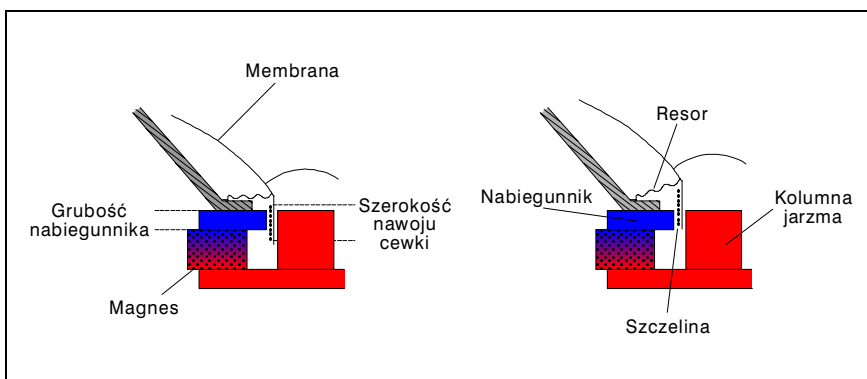
$$X_1 + X_2 = 1,5 \cdot (0,5) / 60^2 \cdot 3,464 \cdot 10^{-2} = 8,5 \text{ mm}$$

Dla takiej samej mocy, w przypadku głośnika rozmiaru 20 cm (średnica czynna ok. 16,5 cm, powierzchnia czynna ok. $213,7 \text{ cm}^2$) dla częstotliwości 40 Hz otrzymuje się już 31 mm!

Jest to wartość znaczna. Z reguły ograniczenia konstrukcyjne nie pozwalają na zbyt duże wychylenia membrany, a więc ograniczają też moc akustyczną możliwą do wytworzenia przez głośnik przy niższych częstotliwościach. Może się np. zdarzyć, że głośnik będzie już mechanicznie przeciążony dla 40 Hz przy mocy 20 W mimo, że cewka może termicznie wytrzymać nawet 100 W mocy elektrycznej. Doprowadzenie wyższej mocy nie spowoduje wzrostu głośności, lecz tylko wywoła wzrost zniekształceń.

Warunki pracy głośnika przy niskich częstotliwościach uzależnione są od stosunku szerokości nawoju cewki do długości szczeliny (rys. 25). Jeśli np. szerokość nawoju ma 8 mm, a długość szczeliny wynosi 4 mm (jest to grubość nabiegunka), to cewka może się wychylać z położenia spoczynkowego po ok. 2 mm w każdą stronę. Większe wychylenie (o

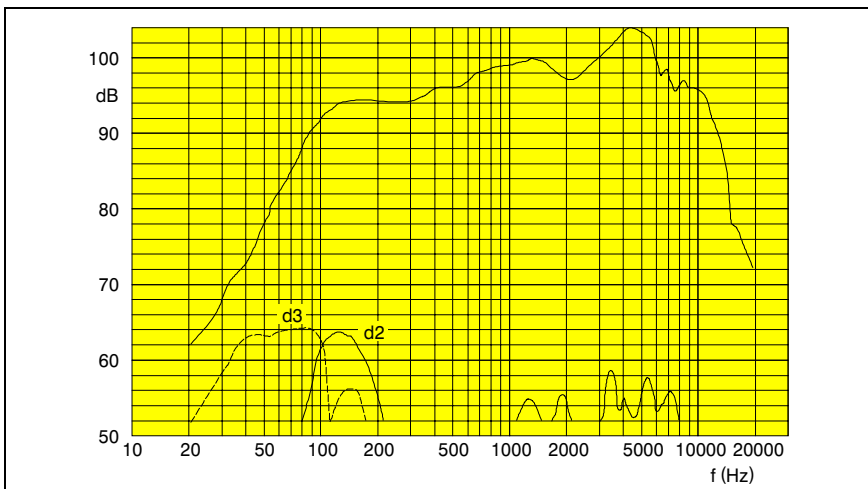
ile pozwolą na nie zawieszenie i resor) spowoduje wychodzenie cewki z obszaru jednorodnego pola magnetycznego szczeliny i zmniejszenie oddziaływania tego pola na cewkę. W efekcie, mimo wzrostu prądu, cewka nie wychyli się bardziej, a więc wystąpi zjawisko podobne do obcinania we wzmacniaczu choć nie tak drastyczne.



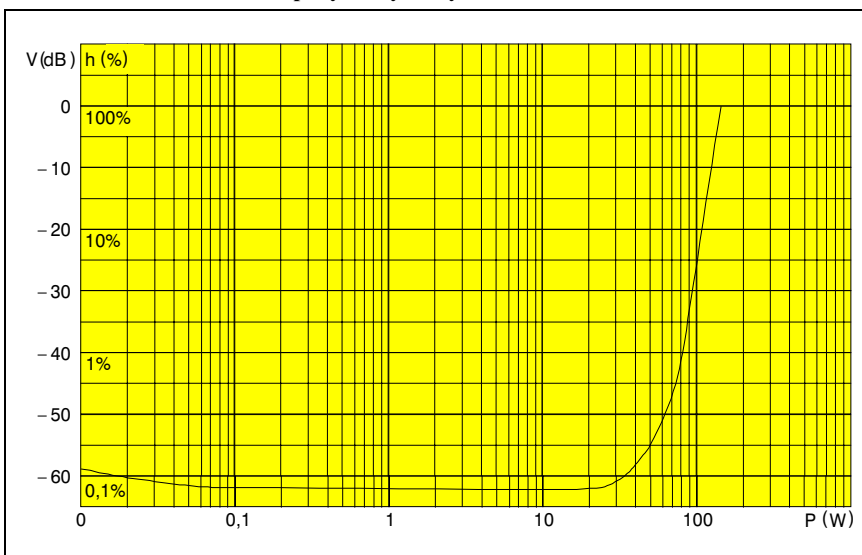
Rys. 25. Cewka w szczelinie magnetycznej

Wychodzeniu cewki z jednorodnego pola magnetycznego towarzyszy kompresja dynamiki i wzrost zniekształceń nieliniowych. Sprawę pogarsza jeszcze niejednakowa podatność zawiesznień w obu kierunkach – np. 1,5 mm do przodu i 2,5 mm do tyłu, swoje dodaje też nieliniowość pola magnetycznego w obrębie szczeliny. Na szczęście zniekształcenia nieliniowe zestawów nie rosną z wysterowaniem tak szybko, jak np. we wzmacniaczu chociaż ich poziom początkowy jest zwykle wyższy. Rysunki 26, 27 i 28 podają typowe zniekształcenia głośnika przy małym wysterowaniu oraz zniekształcenia wzmacniacza i zestawu w funkcji wysterowania.

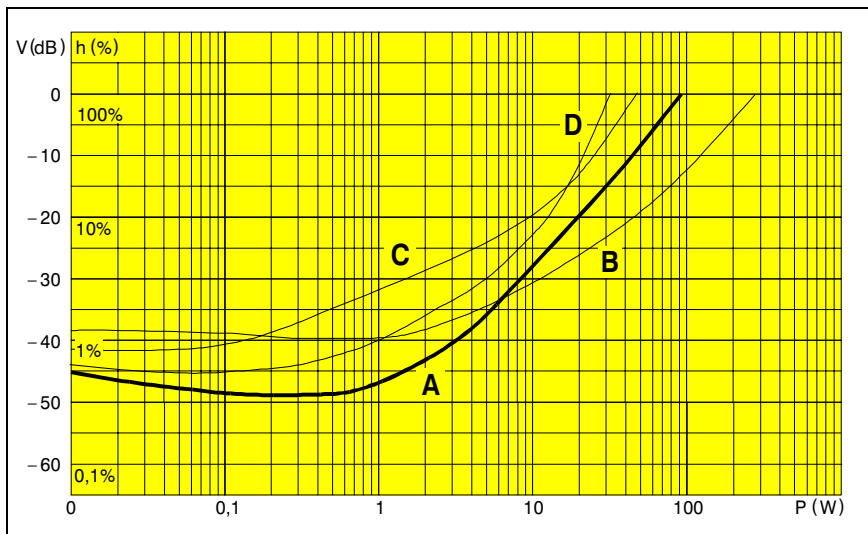
Poprawę dynamiki i zmniejszenie zniekształceń można uzyskać przez zastosowanie dwóch głośników w gałęzi niskotonowej, podobnie jak i zastosowanie głośnika o większej średnicy. Korzystne jest również ograniczenie pasma pracy głośników co najlepiej widać na przykładzie głośnika niskotonowego.



Rys. 26. Typowe zniekształcenia nieliniowe głośnika przy małymysterowaniu



Rys. 27. Typowe zniekształcenia nieliniowe wzmacniacza w funkcjiysterowania



Rys. 28. Zniekształcenia nieliniowe różnych zestawów w funkcji wysterowania

Głośnik ten odtwarza zazwyczaj dość szeroki zakres częstotliwości, w zestawach dwudrożnych nawet do 5, lub więcej kHz. Siłą rzeczy musi więc odtwarzać jednocześnie wiele częstotliwości gdyż tony proste występują raczej sporadycznie. Ponieważ głośnik ma tylko jeden układ drgający więc jeśli np. przebieg z dużym poziomem o częstotliwości 60 Hz spowoduje pracę cewki w obszarze nieliniowym szczeliny to również zniekształcone zostaną przebiegi o wyższych częstotliwościach nawet jeśli mają niewielkie poziomy. Ze względu na w/w efekt, od zestawów dwudrożnych lepsze będą zestawy trójdrożne, a jeszcze lepsze zestawy z subwooferem w którym subwoofer odtwarza najniższe pasmo, np. poniżej 100 Hz.

Przy okazji należy zauważyć, że duże wychylenia układu drgającego naraża wyprowadzenia cewki na przełamanie, może powodować uderzenia resora o nabiegunknik (stuki) oraz powoduje zmęczenie zawieszenia membrany. Jeśli zawieszenie jest dodatkowo wystawiane na światło słoneczne (ultrafiolet) to zniszczenie zawieszenia może nastąpić bardzo szybko.

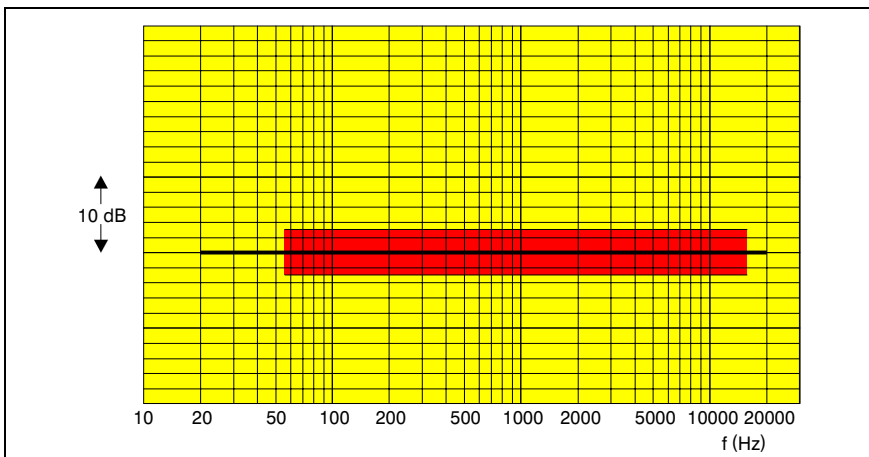
7.3. Inne parametry zestawów

Zestawy głośnikowe charakteryzuje szereg parametrów za pomocą których określa się różne cechy jakościowe istotne dla użytkownika.

Charakterystyka odtwarzania, nierównomierność

Zestaw głośnikowy powinien odtwarzać wszystkie częstotliwości akustyczne z jednakowym poziomem, tzn. równomiernie; nie powinien żadnych tonów, ani nie wypuklać, ani nie osłabiać w stosunku do innych. Nierównomierność charakterystyki odtwarzania zestawów uzyskiwana w komorze bezchowej, tj. w możliwie najlepszych warunkach odtwarzania, jest jednak o wiele większa niż nierównomierność np. charakterystyki wzmocnienia wzmacniacza odczytu magnetofonu, lub dyskofonu.

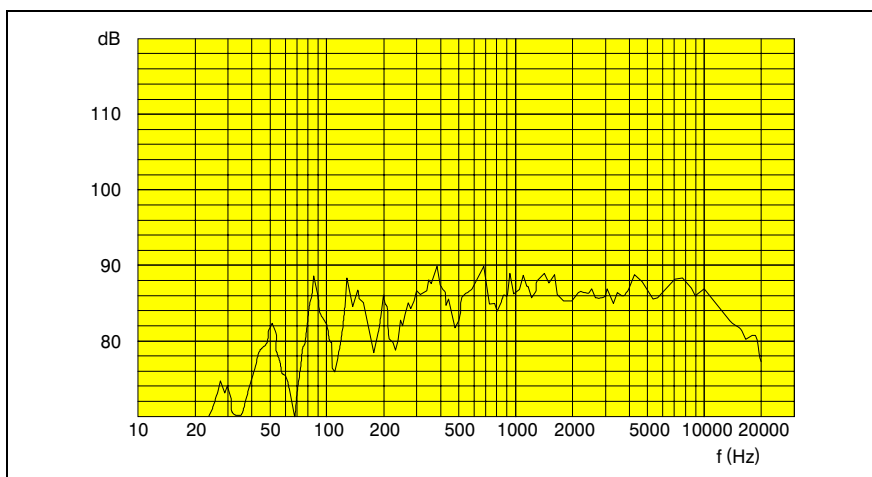
Nierównomierność to różnice w poziomie ciśnienia (SPL) wyrażone w dB, występujące przy odtwarzaniu różnych częstotliwości. Pomiaru dokonuje się w komorze bezchowej w tzw. punkcie odniesienia w odległości 1 m od powierzchni czołowej zestawu. Typową charakterystykę odtwarzania zestawu przedstawiono na rys. 13. Z oceny wyłącza się wąskopasmowe szczyty i zapaści o szerokości mniejszej od 1/9 oktawy (czasem 1/8 oktawy).



Rys. 29 Tolerancja nierównomierności charakterystyki odtwarzania zestawów Hi-Fi

Zakres tolerancji nierównomierności dla zestawów Hi-Fi ilustruje rys. 29. Różnice SPL rzędu 3 dB są już dobrze rozróżnialne, a różnica 10 dB oznacza dwukrotną różnicę głośności.

W rzeczywistych warunkach eksploatacji istotny wpływ na nierównomierność odtwarzania ma przestrzeń odsłuchowa. Przy niezbyt starannym posadowieniu charakterystyka odtwarzania może wyglądać jak na rys. 30; jak można zauważyć, wpływ ten uzewnętrznia się w paśmie poniżej 600 Hz.



Rys. 30. Charakterystyka odtwarzania zestawu przy niestarannym posadowieniu go w pomieszczeniu

Zestawy w niższej klasie cenowej mają przeważnie małe gabaryty i wyposażone są w głośniki niskotonowe o mniejszej średnicy. Powoduje to niedostatek basów co relatywnie uwypukla pasmo częstotliwości średnich i wysokich i jest przyczyną nienaturalnie jasnego brzmienia. W pewnym stopniu można temu zapobiec umieszczając zestawy w narożach pomieszczenia, naturalnie jeśli inne uwarunkowania na to pozwolą.

Charakterystykę odtwarzania zestawów ocenia się również subiektywnie, tj. przy pomocy słuchu. Ocena taka może często nie pokrywać się z oceną pomiarową z różnych względów, m. in. także z powodu różnic poziomów przy odsłuchu i pomiarach. W przypadkach wątpli-

wych rozsądnie będzie dokonać ostatecznej oceny brzmienia zestawu w normalnych warunkach przyszłej eksploatacji i ocenie tej dać pierwszeństwo w stosunku do pomiarów w komorze bezechowej.

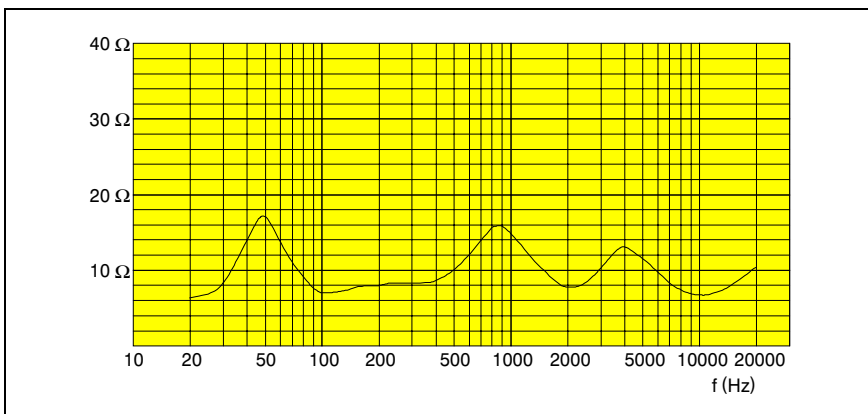
Użyteczny zakres częstotliwości, dolna i górna częstotliwość graniczna

Pożądanym byłoby, aby zestawy odtwarzały równomiernie cały zakres częstotliwości akustycznych, tj. od 16 Hz do 16 kHz, lub lepiej do 20 kHz. Spełnienie tego warunku jest jednak bardzo trudne w zakresie częstotliwości najniższych. Na szczęście, w rzeczywistych warunkach eksploatacji nie jest to bezwzględnie konieczne, gdyż najczęściej używane źródła sygnału (tuner, gramofon itd.) praktycznie nie przenoszą pasma poniżej 40 Hz. Z tego względu przyjmuje się, że dla zestawów Hi-Fi wystarczającym będzie przenoszenie pasma od 40 Hz do 16 kHz, oczywiście przy zachowaniu wymaganych tolerancji nierównomierności (por. rys. 29).

Wielu oferentów określa tzw. użyteczny zakres częstotliwości poprzez podanie częstotliwości, dla których występuje określony spadek poziomu SPL w stosunku do poziomu średniego w oktawie, w której jego wartość jest najwyższa, określając wartość tego spadku na 8, 14 czy 18 dB. Zupełnie przeciętne zestawy mogą przy takiej definicji łatwo osiągać dolną częstotliwość graniczną 40 Hz pozorując zestawy wysokiej wierności odtwarzania, którymi w istocie jednak nie są. Nie należy się więc bezkrytycznie sugerować liczbami deklarowanymi przez oferentów i w miarę możliwości sprawdzać co one oznaczają.

Impedancja, częstotliwość rezonansowa

Impedancja zestawu nie może być wartością dowolną, ale musi być równa wartości odpowiadającej współpracującemu wzmacniaczowi. W praktyce najczęściej spotyka się zestawy o impedancji znamionowej 4 i 8 omów, rzadko o innych wartościach, np. 6 omów. Pożądanym jest, aby impedancja zestawu była stała w całym zakresie częstotliwości które wzmacniacz przenosi do wejścia zestawu. Ponieważ współpracujący wzmacniacz przenosi pasmo szersze od zestawu, zwykle od kilku Hz do 100 i więcej kHz, to w całym tym paśmie zestaw powinien go obciążać jednakowo. Niestety, impedancja wejściowa zestawu zmienia się w funkcji częstotliwości – typowy przebieg ilustruje rys. 31.



Rys. 31. Typowy przebieg impedancji wejściowej zestawu w funkcji częstotliwości

Dla współpracującego wzmacniacza szczególnie groźne są tzw. dziury impedancyjne, tj. takie zakresy częstotliwości, w których impedancja wejściowa zestawu spada poniżej dopuszczalnej wartości, tj. poniżej 80% wartości impedancji znamionowej. Wzrost powyżej wartości znamionowej grozi spadkiem mocy i wzrostem zniekształceń, spadek poniżej wartości minimalnej może również powodować wzrost zniekształceń, a ponadto prowadzi do przeciążenia wzmacniacza. Szczególnie wrażliwe wzmacniacze mogą nawet zostać uszkodzone, zwłaszcza przy eksploatacji z większymi mocami, przy impulsowymysterowaniu i różnych stanach przejściowych. Uszkodzenie się stopni wyjściowych wzmacniacza jest następnie bardzo często przyczyną wtórnego uszkodzenia się samych zestawów.

Z reguły do wyjścia wzmacniacza o określonej impedancji można przyłączyć zestawy o większej impedancji bez obawy przeciążenia wzmacniacza. Oczywiście, wzmacniacz nie będzie mógł wówczas dostarczyć do zestawów pełnej mocy na którą został zaprojektowany. Jeśli np. wzmacniacz o mocy znamionowej 100 W i impedancji znamionowej obciążenia 4 Ω obciążymy zestawem o impedancji 8 Ω , to wzmacniacz ten będzie w stanie dostarczyć do zestawu (w zależności od swoich cech konstrukcyjnych) niewiele ponad 50 W. Zwiększenieysterowania wzmacniacza nie spowoduje wzrostu głośności, a jedynie spowoduje

wystąpienie obcinania ze wszystkimi wcześniej opisanymi ujemnymi skutkami tego stanu rzeczy.

W przypadku konieczności nagłaśniania np. dwóch pomieszczeń przy użyciu jednego wzmacniacza korzystnym jest zastosowanie w jednym kanale dwu zestawów połączonych równolegle. W takim przypadku impedancja każdego z zestawów powinna być dwa razy większa od impedancji obciążenia wzmacniacza – np. dla wzmacniacza 4 om właściwe będą zestawy o impedancji 8 Ω , gdyż przy połączeniu równoległym otrzyma się wymagane 4 Ω . Przy omawianym połączeniu moc znamionowa każdego z zestawów może być dwukrotnie mniejsza, może więc wynosić 50 W dla wzmacniacza o mocy wyjściowej 100 W.

Zestawy należy przyłączać do wzmacniacza możliwie najkrótszymi przewodami o możliwie największej średnicy, chodzi o to, aby rezystancja połączenia była jak najmniejsza. Szczególnie korzystne są w tym względzie lince wykonane z miedzi beztlenujowej.

Przy wyborze wzmacniacza jak i zestawów należy sprawdzić czy zastosowane złącza pozwalają na przenoszenie deklarowanych mocy. Również przy montażu przewody połączeniowe należy dobrze zacisnąć w złączach całym przekrojem, gdyż ewentualne duże oporności przejścia nie tylko pogarszają własności brzmieniowe zestawów, ale mogą nawet doprowadzić do przepalenia złącza jak to ma czasem miejsce przy luźnych połączeniach w instalacji elektrycznej.

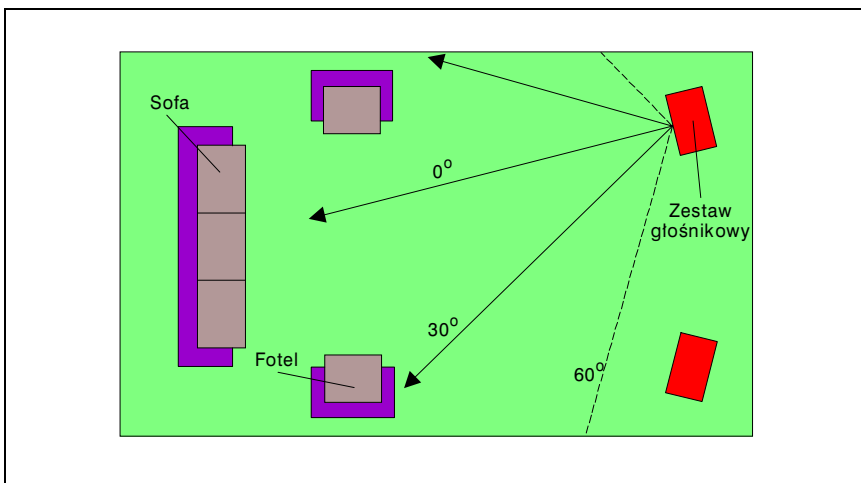
Charakterystyka impedancji zestawu wykazuje zazwyczaj na początku zakresu dość ostre maksimum. Częstotliwość przy której to maksimum występuje nazywa się częstotliwością rezonansową zestawu. Jest to częstotliwość przy której amplituda drgań głośnika niskotonowego jest szczególnie duża, a wartość impedancji przy tej częstotliwości może osiągać znaczne wartości. Niewielkie wysterowanie zestawu przy częstotliwości rezonansowej może spowodować wychodzenie cewki z obszaru liniowego pola magnetycznego szczeliny, a więc spowodować wzrost zniekształceń i ewentualnie nawet przeciążenie zestawu.

Jeśli zestaw jest słabo tłumiony akustycznie, głośnik niskotonowy ma słaby magnes, a oporność przewodów połączeniowych, lub oporność wewnętrzna wzmacniacza są duże, to drgania pobudzonej membrany będą wolno zanikać po ustaniu pobudzenia. W efekcie pogorszy to jakość brzmienia, a dźwięk może stać się nieprzyjemnie dudniący.

Z tego względu należy unikać pobudzania zestawu w okolicy jego częstotliwości rezonansowej, co w praktyce oznacza, że należy wybierać takie zestawy, których częstotliwość rezonansowa leży poniżej wymaganej przez użytkownika dolnej częstotliwości granicznej odtwarzanego pasma. W praktyce zestawy o dużych gabarytach i dużym głośniku niskotonowym mają z reguły niższą częstotliwość rezonansową.

Własności kierunkowe zestawów

Dobre nagłośnienie pomieszczenia oznacza jednakową głośność z obu zestawów kompletu stereofonicznego w możliwie największej części tego pomieszczenia, co najmniej jednak tych miejsc, w których słuchacze najliczniej i najczęściej przebywają (rys. 32).



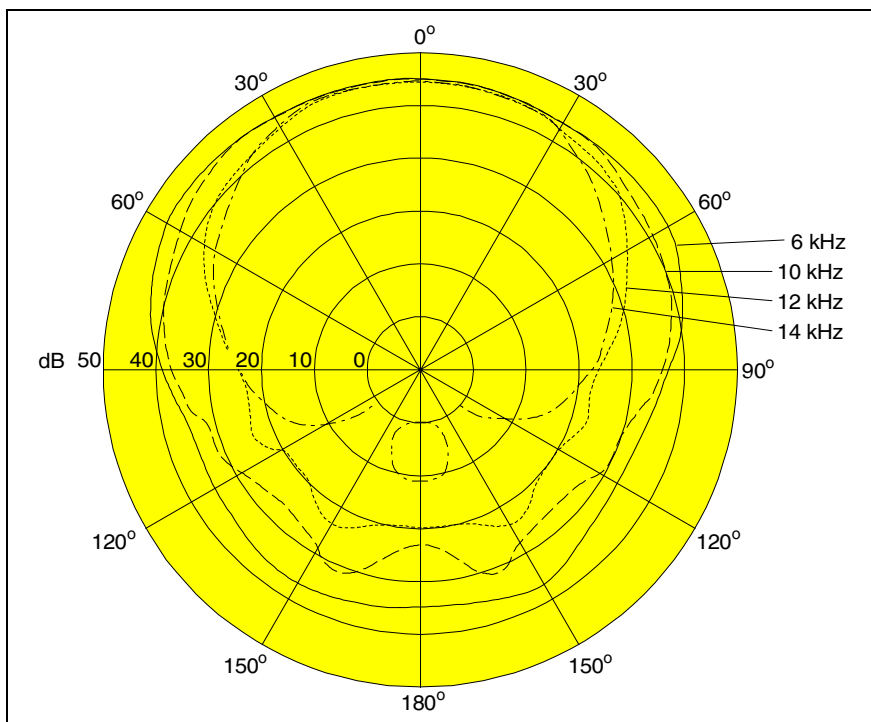
Rys. 32 Problem kierunkowości promieniowania zestawu w pomieszczeniu

Warunek ten można (przynajmniej w przybliżeniu) spełnić wówczas gdy w energii dźwięku znaczący udział będą miały dźwięki odbite.

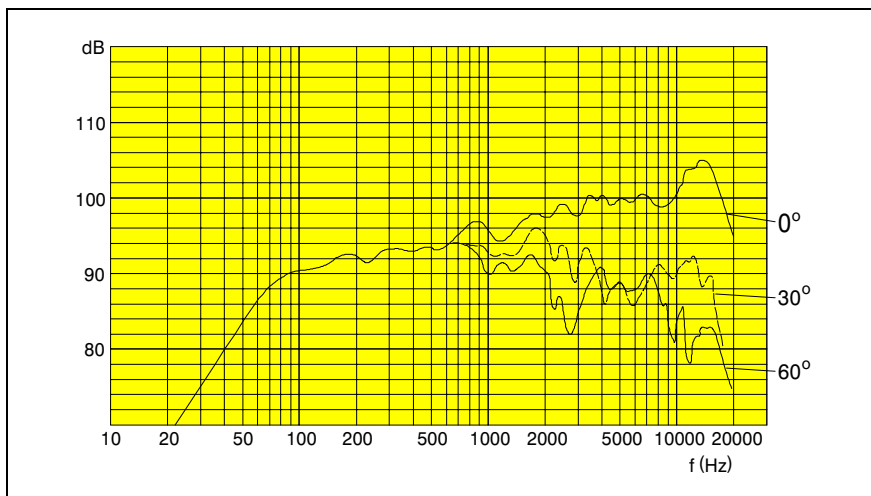
Wykorzystanie odbić zakłada istnienie dwóch rzeczy, a mianowicie pomieszczenia w którym odbicia wystąpią oraz, co może jest mniej oczywiste, zestawów, które będą promieniować falę akustyczną nie tylko do przodu, ale i na boki (por. rys. 32). Zdolność zestawów do

promieniowania na boki powinna być jednakowa dla wszystkich częstotliwości w całym paśmie akustycznym.

Właściwości kierunkowe zestawów zdeterminowane są głównie właściwościami zastosowanych głośników i obudowy, w pewnym zakresie zależą również od zastosowanej zwrotnicy. Ze względu na swą konstrukcję, głośniki nie promieniają fali akustycznej wszechkierunkowo ale mają uprzywilejowany kierunek promieniowania i dodatkowo zawężają promieniowaną wiązkę wraz ze wzrostem częstotliwości. Rys. 33 przedstawia dookólne charakterystyki promieniowania kopułkowego głośnika wysokotonowego, a rys. 34 charakterystyki ciśnienia (SPL) głośnika szerokopasmowego dla wybranych kierunków promieniowania; oba wykresy wykonane są w płaszczyźnie poziomej.



Rys. 33. Charakterystyki promieniowania głośnika wysokotonowego dla wybranych częstotliwości wykonane w płaszczyźnie poziomej



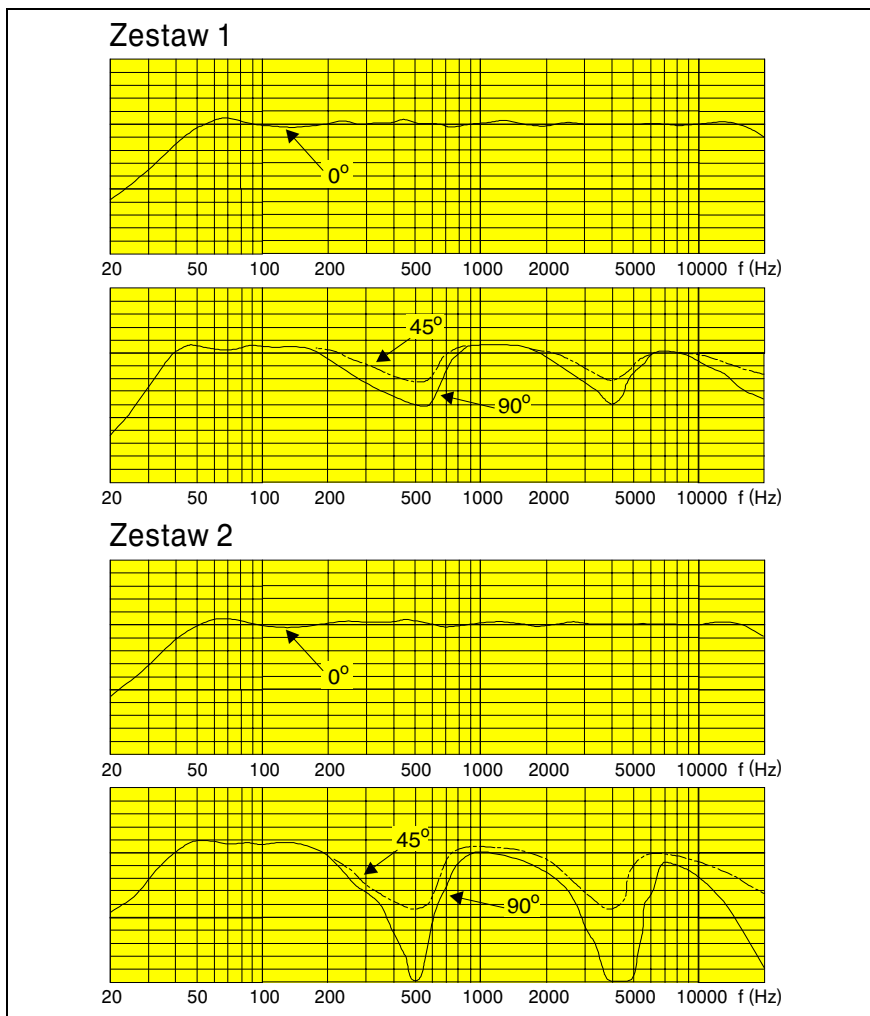
Rys. 34. Charakterystyki promieniowania głośnika szerokopasmowego dla wybranych kątów w płaszczyźnie poziomej

Podobnie jak głośniki, również zestawy będą wykazywać różnice w przebiegu charakterystyk odtwarzania w zależności od kierunku odchylenia od prostopadłej do czoła zestawu. Typowe przebiegi dla dwóch różnych zestawów ilustruje rys. 35.

Jak widać, oba zestawy mają bardzo wyrównany przebieg ciśnienia na osi zestawu. Dla odchyleń 45° i 90° wyraźnie zaznacza się wpływ własności kierunkowych poszczególnych głośników w zestawie. Oczywiście jest, że zestawy w których charakterystyki ciśnienia wykazują dużą nierównomierność dla kierunków różnych od prostopadłego będą też gorzej brzmiały w rzeczywistym pomieszczeniu gdyż przy odsłuchu w obecności odbić wystąpi degradacja pewnych części pasma i towarzyszące temu rozmycie efektu przestrzennego. Rozmycie efektu przestrzennego może nastąpić również wskutek odbić od podłogi, a zwłaszcza od sufitu, gdyż zestawy promieniają nie tylko na boki, ale również w górę i w dół.

Ponieważ odbicia od sufitu docierają do obu uszu prawie równocześnie, więc też w tworzeniu efektu stereofonicznego ich udział jest minimalny; zwiększają za to ogólny poziom głośności oraz wypadkową

nierównomierność charakterystyki odtwarzania. Z tego między innymi powodu w pomieszczeniach wysokich można zwykle uzyskać lepszy efekt przestrzenny dźwięku, niż w pomieszczeniach niskich.



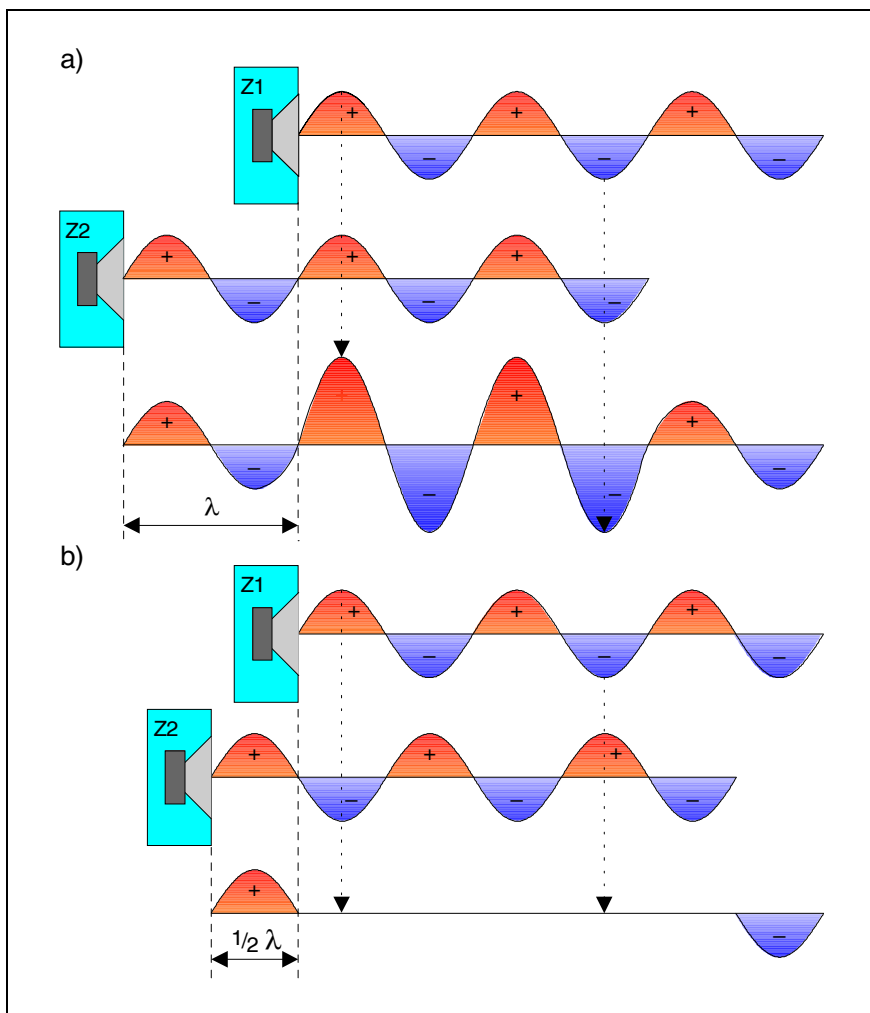
Rys. 35. Typowe charakterystyki odtwarzania dwóch różnych zestawów dla wybranych kierunków emisji

Przy rozmieszczaniu zestawów należy je tak umieszczać, aby głośniki wysokotonowe znajdowały się na wysokości uszu słuchacza. Korzystną jest taka sytuacja, gdy głośnik średniotonowy i wysokotonowy zestawu znajdują się ok. 70 do 100 cm nad podłogą, a zestaw jest lekko odchylony ku tyłowi (por. rys. 37).

Interferencje, zniekształcenia fazowe, różnice czasu dojścia

W paśmie akustycznym interferencje powstają wskutek nakładania się fal dźwiękowych. Jeśli dwie fale dźwiękowe o tej samej częstotliwości dochodzą do słuchacza drogami o różnej długości, to w miejscu odsłuchu pojawiają się zwykle z różnymi amplitudami i fazami, nawet mimo początkowej zgodności tych parametrów. Wskutek tego nastąpi zmiana głośności i wystąpi deformacja impulsu dźwiękowego. Interferencje mogą być spowodowane obecnością kilku źródeł sygnału, odbić od ścian, lub niejednakowej odległości słuchacza od źródeł sygnału. Rys. 36a i 36b ilustrują zjawisko sumowania się w punkcie odsłuchu fal dźwiękowych pochodzących z dwóch identycznych źródeł, gdy różnice w czasie dojścia odpowiadają λ i $\lambda/2$, a więc gdy różnice faz wynoszą 360° i 180° .

Jak widać, w pewnych obszarach, w zależności od wzajemnej różnicy faz między sygnałami spowodowanej tu różnicą w odległości od źródeł sygnału (lub lepiej, różnicą w czasie dojścia), wystąpi wzrost lub wygaszanie się dźwięku. W praktyce różnice faz mogą przyjmować różne wartości dla różnych częstotliwości w różnych punktach przestrzeni. Różnice faz mogą wystąpić nie tylko w przypadku dwóch źródeł sygnału, ale mogą być wywołane innymi czynnikami jak ugięciem fali, odbiciem od przedmiotów lub ścian itp. W efekcie interferencji pojawi się zwiększona nierównomierność charakterystyki odtwarzania, wystąpi deformacja charakterystyk kierunkowych, oraz pogorszą się własności impulsowe dźwięku. Wpływu interferencji na dźwięk nie da się w normalnym pomieszczeniu wyeliminować całkowicie, chyba że zamiast nagłaśniać pomieszczenie zdecydujemy się używać słuchawek co w końcu też jest jakimś wyjściem w szczególnie niekorzystnych sytuacjach.



Rys. 36. Sumowanie się fal dźwiękowych przy różnicach faz 360° i 180°

Odpowiednie kryteria przy kupnie, oraz umiejętna eksploatacja pozwalają problem kontrolować i utrzymać interferencje w dopuszczalnych granicach.

Zmniejszeniu interferencji sprzyja:

- nabudowanie głośników średnio- i wysokotonowych od przodu, a głośnika niskotonowego od tyłu na płytę czołową zestawu,
- montowanie głośników średnio- i wysokotonowych blisko siebie pionowo jeden nad drugim, pozwala to zminimalizować degradację charakterystyk kierunkowych w płaszczyźnie poziomej,
- zastosowanie zwrotnicy o dużej stromości rozdziału pasm przenoszenia między głośnik średnio- i wysokotonowy w celu zmniejszenia pasma częstotliwości odtwarzanego wspólnie przez oba głośniki,
- zastosowanie ściętych, lub zaokrąglonych naroży płyty czołowej obudowy zestawu,
- dostateczne (ale nie nadmierne) wytłumienie pomieszczenia odsłuchowego,
- odpowiedni dobór miejsca posadowienia zestawów jak i słuchacza w nagłaśnianym pomieszczeniu. Jest to czasem jedyny dostępny sposób na ograniczenie nadmiernej uciążliwości interferencji w zakresie najniższych częstotliwości.

Obraz dźwiękowy degradowany jest nie tylko przez nakładanie się fal dźwiękowych o tej samej częstotliwości (interferencje), np. wskutek różnicy długości dróg między źródłem, a słuchaczem dla różnych fal dźwiękowych, ale również z powodu innych przyczyn powodujących zróżnicowanie czasu dojścia poszczególnych częstotliwości składowych sygnału złożonego, tj. powodujących zmianę ich wzajemnych relacji fazowych. Zjawisko to określa się jako zniekształcenia fazowe.

Szczególnie groźne są różnice w czasie pomiędzy sygnałem bezpośrednim, a odbitym wynoszące mniej niż 2 ms co odpowiada ok. 70 centymetrowej różnicy w długościach dróg przebytych przez sygnały. Sygnały odbite o tak małych opóźnieniach traktowane są przez słuch nie jako skojarzone z dźwiękiem bezpośrednim, ale jako obce i z nim nie związane.

Przesunięcia fazowe powstają nie tylko wskutek odbić, różnic w odległości itp. przyczyn związanych z pomieszczeniem odsłuchowym ale również wytwarzane są przez same zestawy (właściwości głośników, ich rozmieszczenie, działanie zwrotnicy), przez wzmacniacz (regulatory barwy, filtry kształtujące charakterystykę przenoszenia), gramofon (wkładka, korekcja), magnetofon (głowica, korekcja często-

tliwości), korektor i inne. Na szczęście słuch nie jest na te przesunięcia zbyt wyczulony.

Pomijając sprawy związane z samymi głośnikami, na zniekształcenia fazowe zestawów wpływają głównie zwrotnica, oraz konstrukcja zestawu w połączeniu z warunkami eksploatacji.

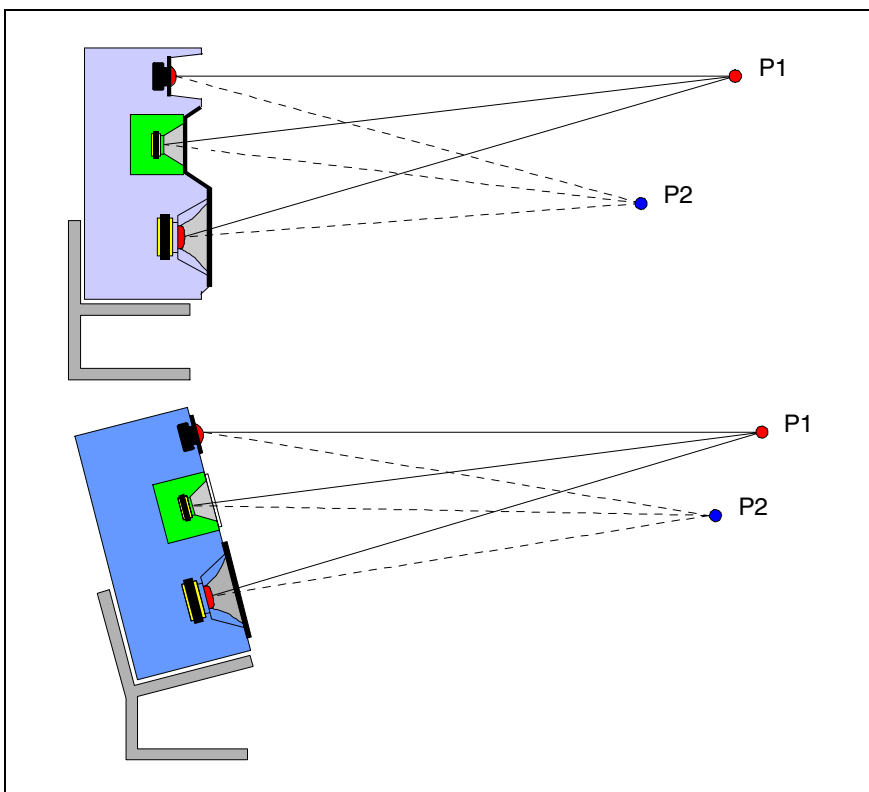
Zwrotnica częstotliwości ma za zadanie podzielić zakres akustyczny na kilka pasm przeznaczonych dla odpowiadających im głośników w ten sposób, aby uzyskać w sumie możliwie najlepszą równomierność odtwarzania przez zestaw wszystkich częstotliwości w deklarowanym paśmie w sposób nie przeciążający poszczególnych głośników. Zwrotnice zbudowane są głównie z cewek, kondensatorów i rezystorów; elementy te tworzą struktury odpowiednich filtrów dolno-, środkowo- i górnoprzepustowych dla poszczególnych obszarów pasma akustycznego. Poszczególne częstotliwości przechodząc przez te filtry podlegają różnym tłumieniom i podlegają znacznym nieraz przesunięciom fazowym, co powoduje powstanie różnic w czasach przejścia dla poszczególnych częstotliwości. Efekty te zauważalne są słuchowo zwłaszcza w obszarze poniżej 2 kHz (gdyż przy wyższych częstotliwościach mają mniejsze wartości) i powodują pogorszenie właściwości impulsowych oraz pogarszają przestrzenność dźwięku

Przesunięcia fazowe na granicach pasm są zwykle na tyle duże, że w obszarze wspólnym poszczególne głośniki mogą nawet drgać w przeciwnych fazach, co powoduje osłabienie promieniowania w tym zakresie. Zgodność faz można przywrócić przez zmianę polaryzacji sterowania głośników.

Zniekształcenia fazowe są dokuczliwe szczególnie wtedy, gdy powodują znacznie większą zmianę charakterystyki odtwarzania. Stan taki może zaistnieć wskutek nieuniknionych różnic w odległości pomiędzy poszczególnymi głośnikami w zestawie, a punktem odsłuchu. Rys. 37 ilustruje to zjawisko.

Jak wynika z rysunku, tylko niektóre punkty (P1) w przestrzeni będą miały jednakową odległość do centrów drgających wszystkich głośników w zestawie. Inne punkty (P2) będą miały te odległości różne. Jeśli głośnik niskotonowy odtwarza przebieg podstawowy, a głośniki średnio- i wysokotonowy odtwarzają harmoniczne tego przebiegu, to do opóźnień wprowadzanych przez zwrotnicę dołączą się opóźnienia spo-

wodowane niejednakową odległością głośników; w efekcie w punkcie odsłuchu może nastąpić istotna zmiana wzajemnych relacji fazowych w sygnale, co użytkownik odczuje jako zafałszowanie postrzeganego dźwięku.



Rys. 37. Problem równej odległości od poszczególnych głośników w zestawie

Praktyczne doświadczenia wykazały, że słuch nie jest zbyt wrażliwy na mniejsze różnice w czasie dojścia; nie powinny one jednak przekraczać 1,5 do 3,5 ms co przy prędkości dźwięku w powietrzu wynoszącym 344 m/s odpowiada różnicy dróg od 50 do 120 cm. Różnice drogi rzędu 1 m są dość dobrze tolerowane dla relacji w obrębie głośników nisko- i średnionowego, dla relacji w obrębie głośników średnio-

i wysokotonowego nie powinny jednak przekraczać 35 cm, gdyż słuch jest w tym obszarze bardziej wrażliwy. Należy zwrócić uwagę, że w/w różnice w odległości odnoszą się do centrów drgających, a nie do powierzchni czołowej zestawu. Przy odtwarzaniu stereofonicznym punkt odsłuchu powinien być równoodległy w odniesieniu do wszystkich centrów drgających obu zestawów.

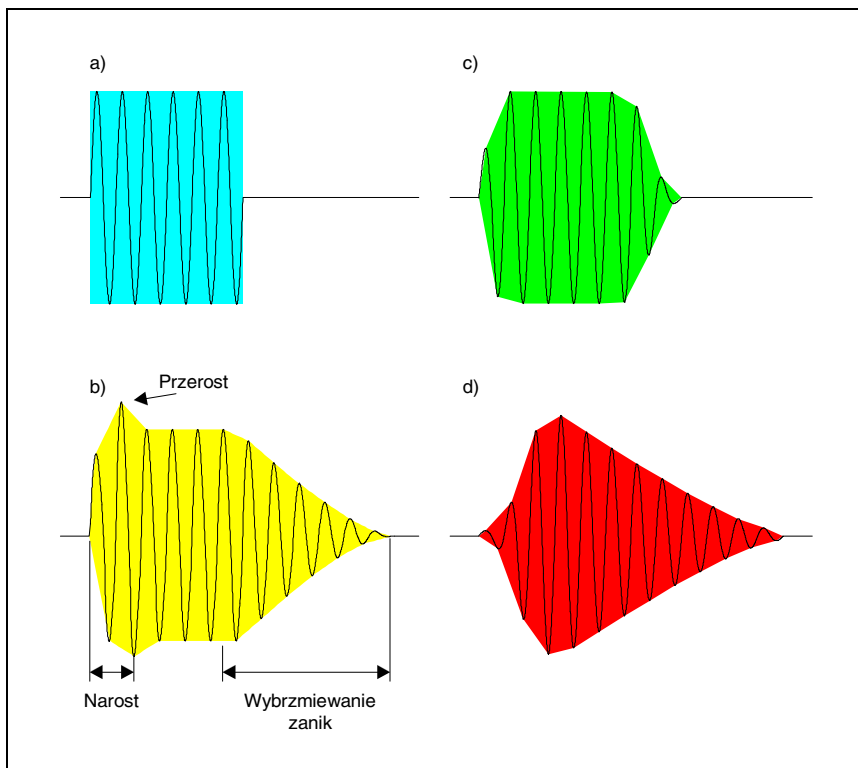
Ponieważ wpływ zniekształceń fazowych zauważalny jest głównie w obszarze poniżej 2 kHz to korzystnym jest unikanie podziału pasma poniżej tej częstotliwości, tj. stosowanie głośnika niskotonowego lub nisko-średnio-tonowego pokrywającego zakres do 2 kHz. Warunek ten daje się względnie łatwo spełnić w przypadku zastosowania subwoofera.

Własności impulsowe charakterystyka wybrzmiewania

Jedną z bardziej pożądaných właściwości zestawów jest zdolność do poprawnego odtwarzania impulsów. Jest ona uwarunkowana właściwościami głośników, obudowy i pomieszczenia odsłuchowego. Jeśli do głośnika zostanie doprowadzony impuls (sygnał o skokowym naroście), to membrana nie wychyli się natychmiast, stosownie do powstałej siły, ale z pewnym opóźnieniem, stosownie do bezwładności układu drgającego. Podobnie, gdy sygnał zaniknie nagle, to membrana nie zatrzyma się natychmiast ale dopiero po pewnej chwili, najczęściej po wykonaniu kilku coraz mniejszych wychyleń wokół położenia spoczynkowego. Dobry głośnik powinien mieć możliwie krótkie czasy narostu i zaniku wychyleń membrany, a więc pojawiania się i zaniku dźwięku gdyż tylko wówczas muzyka i mowa będą wiernie odtwarzane gdyż składają się one z szybko zmieniających się impulsów.

Głośniki o cięższych układach drgających i większych membranach (większa też będzie dla nich masa współdrgającego powietrza) reagują wolniej na zmianę pobudzenia a głośniki mniejsze, o lżejszych układach drgających reagują szybciej. Byłoby idealnie gdyby wychylenia membran głośników nadążały za przebiegiem sinusoidalnym o górnej częstotliwości odtwarzanego przez nie pasma – np. dla 16 kHz (głośnik wysokotonowy) okres wynosi $62,5 \mu\text{s}$ a więc czas narostu lub zaniku wynoszący $1/4$ okresu miałyby $15,6 \mu\text{s}$. Dla głośnika niskotonowego i 600 Hz czasy te wynoszą ok. $420 \mu\text{s}$. Rzeczywiste czasy są o wiele

wyższe, nawet dla najlepszych głośników. Rys. 38 pokazuje impuls pobudzający i odpowiedź różnych głośników.

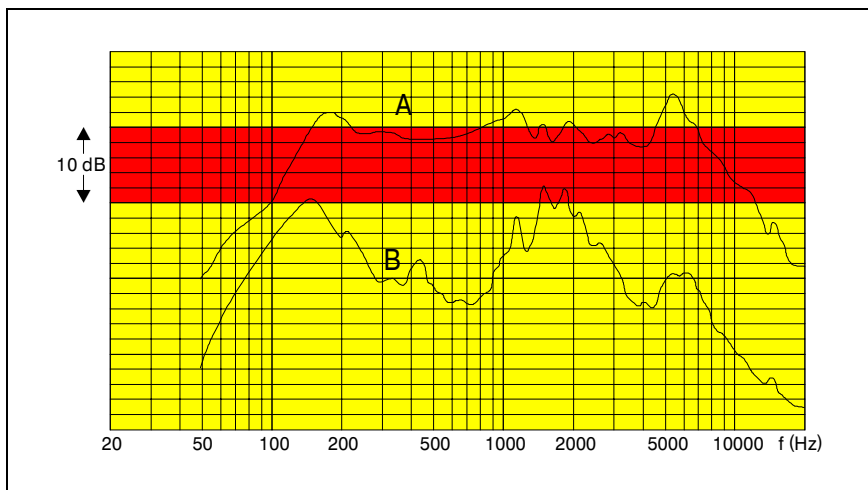


Rys. 38. Pobudzenie impulsowe i odpowiedź różnych głośników:
pobudzenie, b) typowa odpowiedź, c) odpowiedź głośnika niskotonowego
dobrej jakości, d) odpowiedź głośnika wysokotonowego niskiej jakości,
N - narost, P - przerost, W - wybrzmiewanie, zanik,

Dobre własności impulsowe mają zazwyczaj głośniki o dużych, silnych magnesach i lekkich, optymalnie tłumionych układach drgających, które nie wykazują do tego rezonansów własnych, np. wskutek dzielenia się membrany.

W zakresie wysokotonowym od głośników z membraną stożkową lepsze są zazwyczaj głośniki z membraną kopułkową, gdyż ich membrany są zwykle lżejsze i mają mniejsze skłonności do dzielenia się i rezonansów własnych.

W zakresie nisko- i średniotonowym dużą rolę odgrywa obudowa i rezonans masy drgającej. Właściwie dobrana pojemność obudowy z optymalnie dobraną ilością materiału tłumiącego pozwalają na dostateczne stłumienie rezonansu i dzięki temu na skrócenie czasu zaniku. Nadmiernie silne tłumienie głośnika niskotonowego osłabia jednak basy, podobnie działa też nadmiernie silny magnes. Bardzo lekkie membrany głośników nisko- czy średniotonowych są zwykle mało sztywne, łatwo się dzielą, a poszczególne części wykazują silne rezonanse własne. Podobny efekt daje zbyt wiotkie zawieszenie membrany, gdyż ułatwia ono dzielenie się membrany.



Rys. 39. Utrzymywanie się dźwięku po ustaniu pobudzenia:

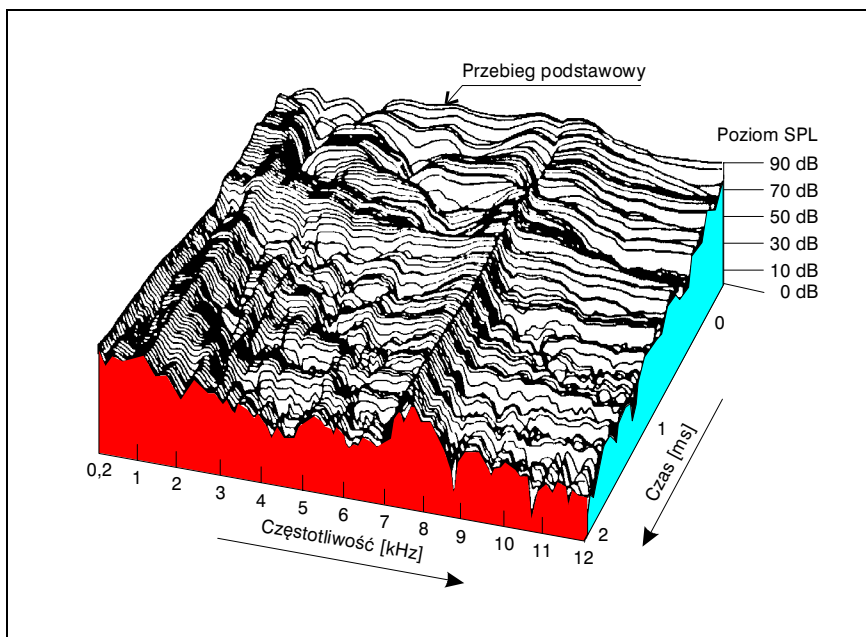
A – odpowiedź mierzona jednocześnie z pobudzeniem,

B – odpowiedź mierzona z opóźnieniem 1 ms

W obszarze niskotonowym właściwości impulsowe zależą nie tylko od właściwości głośników i obudów, ale zależą dodatkowo w znacznym stopniu od właściwości pomieszczenia. Na czasy narostu i zaniku wpływ mają odbicia, fale stojące, miejsce posadowienia zestawów, itp.

Należy tu zauważyć, że własności impulsowe zestawów są silnie uzależnione od częstotliwości, m. in. ze względu na zwrotnicę i zastosowanie kilku zróżnicowanych głośników. Rezonanse obudowy, oraz głośników lub ich części powodują wydłużenie czasu zaniku, co oznacza, że elementy drgające później wracają do stanu równowagi, a więc odtwarzać będą jeszcze stary impuls, gdy już pojawił się nowy. Utrzymywanie się dźwięku po ustaniu pobudzenia ilustruje rys. 39.

Jak widać, pewne obszary w przebiegu B mają wyższy poziom SPL niż inne obszary. Są to pasma, w których występują zapewne rezonanse obudów, głośników, fragmentów membran, cewek, kopulek itp. Za pomocą nowoczesnej aparatury można dokonać pomiaru charakterystyk odtwarzania dla różnych opóźnień i po złożeniu ich razem uzyskać przestrzenny wykres wybrzmiewania jak na rys. 40.



Rys. 40. Przykładowy wykres wybrzmiewania zestawu

Wykres pokazuje, że:

- pobudzenie w zakresie niższych częstotliwości zanika wolno, może to oznaczać skłonność do dudnień.
- w zakresie $7\div 8$ kHz występuje silny i bardzo słabo tłumiony rezonans, który może mocno zafałszować obraz dźwiękowy,
- z opóźnieniem ok. 0,5 ms występuje coś w rodzaju echa przebiegu podstawowego,
- częstotliwości wyższe wybrzmiewają szybciej niż częstotliwości niższe, co jest zgodne z potrzebami i oczekiwaniami.

Wpływ rezonansów własnych głośników można ograniczyć jeśli głośniki pracować będą w paśmie rozpoczynającym się o oktawę powyżej częstotliwości rezonansowej. Z kolei wpływ rezonansów związanych z dzieleniem się membrany, rezonansem cewki, niestabilnością zawieszenia itd. można zmniejszyć przez ograniczenie pasma od góry.

Własności impulsowe, jak mało które inne własności, silnie zależą od poziomu pobudzenia. Przy odtwarzaniu muzyki występują krótkie, silne impulsy o mocy maksymalnej przekraczającej 50 i więcej razy moc średnią dla wybranej głośności. Współpracujące wzmacniacze dość łatwo mogą sprostać tym potrzebom, również i cewki głośników nie spalą się od razu. Jednak silne impulsy dość łatwo przeciążają głośniki mechanicznie, a doprowadzona moc elektryczna nie jest przekształcana w odpowiadający jej ruch membrany, tj. w moc akustyczną.

Dzieje się tak m. in. ze względu na bezwładność masy drgającej, hamowanie spowodowane przez zawieszenie i resor, oraz inne czynniki. W efekcie następuje kompresja dynamiki, która jest zwykle tym większa, im mniejsza jest powierzchnia czynna membrany, oraz im bardziej średnia moc bieżąca zbliżona jest do mocy znamionowej zestawu.

Niewiele jest symptomów, które pozwoliłyby nabywcy zorientować się co do właściwości impulsowych zestawu. Zestawy z głośnikami o większych rozmiarach pozwalają zwykle uzyskać lepsze odtwarzanie impulsów przy wyższych poziomach od zestawów z mniejszymi głośnikami. Rzadko spotykane głośniki tubowe nieźle odtwarzają silne impulsy choć zwykle mają inne wady. Najlepszym jednak sposobem na dobre odtwarzanie mocnych, dynamicznych impulsów jest taki dobór zesta-

wów, aby miały dużą rezerwę mocy. Sugerowanie się dużymi wartościami krótkotrwałej lub długotrwałej mocy maksymalnej nie jest właściwe, gdyż moce te świadczą raczej o odporności, bądź trwałości zestawu, a nie o jego własnościach dynamicznych lub impulsowych.

7.4. Wpływ obciążenia na parametry zestawów

Przy kupnie zestawów nabywca musi się liczyć z tym, że ich parametry przy dużych głośnościach będą się różnić od deklarowanych przez oferenta, gdyż te definiowane są raczej przy małych mocach.

W rzeczywistych warunkach, przy pracy z większymi mocami, zwłaszcza blisko mocy znamionowej, szereg istotnych parametrów może się znacznie różnić in-minus od podawanych na tabliczkach znamionowych lub w kartach informacyjnych.

Wzrost wysterylowania to wzrost dostarczanej do zestawu mocy, a więc i wzrost strat na ciepło w rezystancjach elementów zwrotnicy, oraz rezystancjach uzwojeń cewek głośnikowych. Wydzielane ciepło podnosi temperaturę cewek i innych elementów, wzrost temperatury zaś powoduje wzrost rezystancji (uzwojenia cewek są wykonane z miedzi, która ma dodatni współczynnik termiczny), a więc w konsekwencji jeszcze bardziej podnosi temperaturę. W efekcie wraz ze wzrostem wysterylowania rośnie impedancja wejściowa zestawu, co oznacza że ma ona charakter nieliniowy.

Jednym z czynników limitujących moc nominalną wzmacniacza jest maksymalny poziom napięcia wyjściowego. Zależy on tylko w niewielkim stopniu od obciążenia czyli od impedancji zestawu, można więc przyjąć, że napięcie jest praktycznie stałe. Stałe napięcie wyjściowe oznacza, że maksymalna moc oddawana do zestawu będzie malała ze wzrostem jego impedancji.

Wzrost temperatury powoduje też zmiany wartości innych elementów, np. zwrotnicy, co łącznie ze zmianami rezystancji cewek może istotnie zmienić oddziaływanie zwrotnicy i w efekcie spowodować deformację charakterystyki odtwarzania.

Wzrost temperatury jest przyczyną mięknięcia klejów, którymi łączone jest uzwojenie cewki do karkasu, oraz łączony jest karkas z resorem i membraną. Połączenia stają się mniej sztywne, co może zmniejsz-

zyć efektywne wychylenie membrany i sprzyja wykonywaniu przez nią mniej zdefiniowanych ruchów. Pewne niekorzystne zmiany zachodzą także w obwodzie magnetycznym. W rezultacie opisanych zjawisk nastąpi spadek efektywności oraz sprawności, a więc i mocy akustycznej oddawanej do otoczenia.

Duże amplitudy wychyleń oznaczają też większe przyspieszenia i bardziej dynamiczną pracę elementów zawieszenia, co wpływa na zmianę ich liniowości i w efekcie na zniekształcenia nieliniowe.

Reasumując, wzrost temperatury towarzyszący zwiększonemu obciążeniu jest zjawiskiem destrukcyjnym i niepożądanym. Ponieważ przyrost temperatury przy danej mocy jest tym większy, im mniejsze są średnice cewek głośnikowych, więc chcąc mieć zestawy bardziej temperaturowo stabilne należy wybierać te, w których głośniki mają większe rozmiary.

7.5. Obudowa i wyposażenie

Własności zestawów są silnie zależne od jakości obudowy, zwłaszcza w zakresie niższych częstotliwości. Ścianki obudowy powinny być sztywne, tak aby przy dużych ciśnieniach towarzyszących dużym mocom nie odkształcały się i nie współdrgały z głośnikiem niskotonowym, gdyż powoduje to wzrost nierównomierności i nieprecyzyjne odtwarzanie basów. Dużą sztywność obudowy uzyskuje się dzięki stosowaniu na ścianki grubych płyt wiórowych, a na płytę czołową płyty z MDF (rodzaj zagęszczonego drewna). Obudowy usztywnia się też wewnątrz dodatkowo wzmocnieniami w kształcie okienek itp.

Współdrgać z głośnikami mogą także zewnętrzne elementy w pomieszczeniu jak ścianki regałów, okna, drzwi itp. w związku z tym należy zestawy w miarę możliwości oddalać od takich elementów pomieszczenia.

W obudowie, podobnie jak w każdym pomieszczeniu, wystąpić mogą rezonanse i fale stojące. Odpowiedni kształt i proporcje wymiarów, a także wytlumienie wnętrza obudowy np. wełną mineralną pozwolą zminimalizować ich wpływ.

Ekspluatając zestawy należy odseparować je od podłoża np. przy pomocy gumowych nóżek lub metalowych ostrzy, ponieważ zestawy,

zwłaszcza większe, dość łatwo pobudzają do drgań podłogę lub półkę regału na której stoją lub leżą.

Reasumując, można się spodziewać, że zestawy masywne, o proporcjach boków 2,5:1,6:1 lub 4:1,6:1,25 z nóżkami będą lepsze od zestawów lekkich, o innych proporcjach i bez nóżek.

W zakresie wyższych częstotliwości akustycznych odtwarzanie może być osłabione z powodu zbyt gęstego materiału przysłony. Również ramka na której rozpięty jest materiał może niekorzystnie wpływać na własności kierunkowe. Z tego powodu, tam gdzie to jest możliwe, należy przysłonę zdejmować.

7.6. Zestawy stereofoniczne

Urządzenie stereofoniczne kojarzone jest zwykle z urządzeniem wysokiej wierności odtwarzania. Chociaż stereofoniczne zestawy głośnikowe nie muszą być urządzeniami Hi-Fi, to jednak pożądane jest aby ich jakość była wyższa, oraz aby były bardziej powtarzalne. Dotyczy to przede wszystkim charakterystyki odtwarzania. Maksymalna różnica efektywności pomiędzy poszczególnymi egzemplarzami pary nie powinna przekraczać 3 dB (w zestawach Hi-Fi 2 dB) w każdej z oktaw w paśmie od 250 Hz do 8 kHz.

Podobne wymaganie dotyczy charakterystyki kierunkowej w płaszczyźnie poziomej oraz pionowej. Przykładowo, charakterystyki kierunkowe zestawów Hi-Fi w płaszczyźnie poziomej mierzone w paśmie od 250 Hz do 8 kHz powinny się mieścić w polu tolerancji ± 4 dB dla odchyleń do 30° i powinny być możliwie zbliżone dla obu egzemplarzy.

Pożądane jest też aby przebieg charakterystyki impedancji, oraz zniekształcenia obu egzemplarzy pary były maksymalnie zbliżone, a wszystkie wymogi dotrzymywane w całym zakresie obciążeń.

Dość oczywistym wymaganiem jest potrzeba zachowania właściwej biegunowości zestawów. Chodzi o to, aby w przypadku odtwarzania przez oba zestawy tego samego przebiegu, w punkcie odsłuchu właściwym dla stereofonii, uzyskać sumowanie się obu przebiegów, gdyż tylko wówczas uzyska się poprawny efekt przestrzenny charakterystyczny dla transmisji stereofonicznej. Producenci wyróżniają biegun dodatni zestawu, tj. ten zacisk, który należy połączyć z dodatnim zaci-

skiem wyjścia wzmacniacza. Za biegun dodatni uznaje się ten zacisk, który po połączeniu go do dodatniego bieguna napięcia spowoduje wychylenie membrany głośnika niskotonowego do przodu. Jeśli np. w czasie instalacji dojdzie do pomylenia biegunowości (fazowości) połączeń w jednym z egzemplarzy, to spowoduje to utratę efektu stereofonicznego, a dźwięk stanie się nieprzyjemny i drażniący.

W czasie eksploatacji należy zadbać także o to, aby oba egzemplarze pary miały maksymalnie zbliżone warunki emisji dźwięku. Należy je więc rozmieścić tak, aby zachowując właściwą bazę stereofoniczną, uzyskać zbliżone warunki propagacji fali bezpośredniej i fal odbitych, tj. podobną wysokość posadowienia, kąt pochylenia itd. w stosunku do słuchacza, a także zachować podobne długości przewodów połączeniowych. Podobne warunki dotyczą ewentualnych przeszkód jeśli nie da się ich wyeliminować

8. Wzmacniacz

Wypadkowy efekt nagłośnienia zależy głównie od jakości zestawów i właściwości przestrzeni odsłuchowej. Wzmacniacz współpracujący z zestawami, mimo że jest bardzo ważnym członem zestawu muzycznego, zwykle nie limituje jakości odtwarzania, ponieważ jego osiągi zazwyczaj znacznie przewyższają osiągi zestawów głośnikowych. Widać to zwłaszcza na przykładzie zniekształceń – przy małychysterowaniach zniekształcenia harmoniczne i intermodulacyjne wzmacniaczy są na poziomie 0,1%, podczas gdy dla zestawów są 20 i więcej razy wyższe. Tym niemniej, przy słuchowej ocenie różnych wzmacniaczy można wychwycić różnice między nimi, zwłaszcza przy współpracy z różnymi zestawami, w niektórych zakresach częstotliwości czy też przy pewnych poziomach mocy wyjściowej. Poniżej kilka problemów na które użytkownik powinien zwrócić uwagę przy organizowaniu sobie środowiska odsłuchowego.

Moc wyjściowa

Jak już wcześniej wspomniano, moc znamionowa wzmacniacza powinna być równa lub wyższa od mocy znamionowej zestawów (jednak niektórzy producenci zestawów zalecają, aby ich zestawy współpracowały ze wzmacniaczami o mocy niższej od mocy jaką mają zestawy). Warunek ten jest istotny ze względu na awaryjność zestawów i ewentualnie wzmacniacza, ale nie jest miarodajny gdy idzie o jakość odtwarzania.

Porównując rys. 27 i 28 można zauważyć, że zniekształcenia wzmacniacza rosną bardzo szybko po przekroczeniu pewnego poziomu mocy, zwykle mocy maksymalnej (może nawet dojść do obcinania wierzchołków przebiegu). Zniekształcenia zestawów, choć początkowo większe, nie rosną jednak tak szybko po przekroczeniu górnego proguysterowania. Oznacza to, że z porównywanych członów bardziej podatnym na przesterowanie jest wzmacniacz, a więc to on będzie limitował zdolność do wiernego odtwarzania impulsów, zwłaszcza przy wyższych poziomach. Z tego względu w praktyce należy dobierać wzmacniacz tak, aby był zdolny do oddawania w impulsie mocy co

najmniej 50 razy większej od oddawanej przy przeciętnej głośności wymaganej w miejscu odsłuchu. Jeśli np. w odległości 3 m od zestawu pożądaną głośność średnią uzyskuje się przy 3 W, to moc maksymalna wzmacniacza powinna wynosić 150 W na kanał. Przy mniejszych wymaganiach co do dynamiki, przewyższenie może być mniejsze, nie powinno jednak być niższe niż 10 razy, a więc w takim przypadku moc wzmacniacza powinna wynosić co najmniej 30 W na kanał.

Filtry, regulacja barwy, korektor

Wzmacniacz jest zwykle wyposażony w szereg regulacji umożliwiających kształtowanie charakterystyki przenoszenia. Podobne zadanie spełnia korektor, który jest coraz częściej stosowany w zestawach muzycznych.

W normalnych okolicznościach odkształcanie charakterystyki przenoszenia nie powinno być potrzebne. Dobre zestawy i właściwie zaaranżowane pomieszczenie powinno zapewnić dobrą jakość odsłuchu przy liniowej charakterystyce wzmacniacza. Odkształcenie charakterystyki jest źródłem niepożądanych zniekształceń fazowych, a ponadto może być przyczyną zniekształceń nieliniowych i przeciążenia zestawów, zwłaszcza przy wyższych wysterowaniach.

Szczególnie niebezpieczne dla zestawów jest często obserwowane uwypuklanie częstotliwości wysokich regulatorem barwy, korektorem, lub co gorsze, obiema regulacjami łącznie. Powoduje to doprowadzenie do głośnika wysokotonowego mocy przewyższającej nawet 10-cio krotnie moc, którą otrzymuje on przy neutralnych położeniach regulatorów. Praktycznie żaden głośnik wysokotonowy nie będzie w stanie temu sprostać i w krótkim czasie nastąpi przepalenie cewki, a więc uszkodzenie zestawu.

Niektóre zestawy można dość łatwo przesterować w obszarze basów, zwłaszcza gdy uwypuklać będzie się pasmo w pobliżu, lub poniżej dolnej częstotliwości granicznej. Przypadek taki występuje zazwyczaj przy stosowaniu tańszych zestawów o mniejszych gabarytach, ze względu na z natury dość szerokopasmową regulację barwy we wzmacniaczu. Już przy średnich wysterowaniach mogą wówczas znacznie wzrosnąć zniekształcenia nie tylko w obszarze basów ale także, co jest już bardziej uciążliwe, również i w paśmie średniotonowym (por.

rys. 22). Jeśli więc nie mamy dobrego subwoofera, to uwypuklanie basów może mijać się z celem gdyż uwypuklenie będzie mierne, ale za to wystąpi kompresja dynamiki, wzrosną zniekształcenia i zmniejszy się rezerwa wymagana przy odtwarzaniu impulsów. Nadmierne uwypuklenie basów przy wyższych poziomach głośności może doprowadzić do obcinania wierzchołków przebiegu w samym wzmacniaczu, ponieważ jest on w tym zakresie częstotliwości szczególnie na to podatny.

Niektóre zestawy muzyczne wyposażone są w tzw. DSP (Digital Sound Processor) umożliwiający symulowanie właściwości różnych przestrzeni odsłuchowych. Ponieważ stosuje się w nim m.in. kształtowanie charakterystyki amplitudowej to również i w jego przypadku należy brać pod uwagę w/w uwarunkowania.

W zakresie dużych wysterowań zaleca się stosować neutralne położenia regulatorów charakterystyki przenoszenia, lub wyłączać ich działanie (niektóre wzmacniacze mają funkcję Linear, która to umożliwia). Zasadą powinno być, aby o tyle dB zmniejszać maksymalne wysterowanie wzmacniacza, o ile dB łącznie uwypukla się jakąś część odtwarzanego pasma.

Reasumując, pożądane właściwości odtwarzania lepiej jest uzyskać przez staranne rozmieszczenie zestawów w pomieszczeniu, właściwy dobór miejsca odsłuchu, oraz dodatkowe uzupełnienia pomieszczenia niż przez korygowanie charakterystyki przenoszenia wzmacniacza lub użycie korektora.

Ewentualne niewielkie korygowanie charakterystyki może być uzasadnione w celu skompensowania szerszych nierównomierności w charakterystyce odtwarzania zestawów. Podnoszenie odtwarzania wyższych częstotliwości pasma akustycznego może być niekiedy uzasadnione nadmiernym wytłumieniem pomieszczenia (które w pierwszej kolejności degraduje zakres wysokotonowy), lub czasem niedostatkami wysokich przy odtwarzaniu z taśmy magnetofonowej, lub płyty gramofonowej. Współczesne źródła sygnałów np. płyty kompaktowe mają dużo tonów wysokich i dodatkowe podnoszenie ich regulatorami jest nieuzasadnione.

Zwykle uwypuklanie basów i sopranów poprawia subiektywną jakość dźwięku przy niskich poziomach głośności. Właściwie efekt ten powinien być uzyskany dzięki tzw. fizjologicznej regulacji głośności,

która ma zapewnić właściwe dla danej głośności odkształcenie charakterystyki przenoszenia wzmacniacza (por. rys. 5). Niektóre wzmacniacze wyposażone są w specjalne filtry (Loudness, Kontur itp.) którymi włączać i wyłączać można stosowne odkształcenia korygujące postrzeganie głośności.

Niekiedy do zrównoważenia głośności kanałów stereofonicznych nadużywa się regulacji zrównoważenia (balansu). Nie jest to właściwe postępowanie gdyż odpowiednie zrównoważenie powinno się uzyskać w pierwszym rzędzie przez poprawne zaaranżowanie pomieszczenia, a dopiero potem ewentualną nierówność efektywności obu egzemplarzy zestawów zrównoważyć regulacją balansu.

Obciążenie

Wzmacniacze projektowane są na określoną impedancję obciążenia, zwykle 4 lub 8 Ω . Oznacza to, że zarówno parametry trwałościowe jak i jakościowe wzmacniaczy optymalizowane są na właściwą dla niego impedancję, a właściwie oporność rzeczywistą (rezystancję) o tej wartości. W rzeczywistości impedancja wejściowa zestawu ma charakter zespolony i w różnych przedziałach częstotliwości ma różny charakter: rzeczywisty, indukcyjny, lub pojemnościowy; występują więc przesunięcia fazowe pomiędzy napięciem, a prądem wyjściowym. Także moduł tej impedancji nie jest stały i zmienia się w dużych granicach – nieraz od 2 do ponad 50 Ω .

Również wzmacniacze różnią się konstrukcją i różnie reagują na występującą zmienność obciążenia. Zależy to m. in. od ich oporności wewnętrznej, stałości napięcia i wydajności prądowej zastosowanego zasilacza, oporności połączeń z zestawami itp. Pożądane jest, aby rezystancja wyjściowa wzmacniacza nie przekraczała 1/3 wartości impedancji znamionowej zestawu, a oporność połączeń (rezystancja połączeń i rezystancja przejściowa złączy) była pomijalna w porównaniu z impedancją zestawu. Warunki te łatwiej jest spełnić w przypadku zestawów 8-mio omowych niż 4-ro omowych.

Wzmacniacze o tzw. sztywnych zasilaczach mają dość stały poziom maksymalnego napięcia wyjściowego, a więc w przedziałach częstotliwości, w których impedancja wejściowa zestawu jest duża, dostarczą do zestawu mniejszą moc. Należy tu też mieć na uwadze, że przy maxi-

mach impedancji obcinanie wystąpi przy niższymysterowaniu. Ponieważ najczęściej najsilniejsze sygnały występują w obszarze basów, a tam też występuje maksimum impedancji związane z częstotliwością rezonansową, więc też w tym obszarze najłatwiej może dojść do obcinania. Zwykle zestawy z otworem mają niższe maksima rezonansowe więc też lepiej nadają się do współpracy ze wzmacniaczami o sztywnym zasilaczu.

W drugim skrajnym przypadku, tzn. przy minimach impedancyjnych zestawu, wzmacniacze są przeciążane prądowo, co przy większychysterowaniach prowadzi do wzrostu zniekształceń intermodulacyjnych, a nawet do uszkodzenia wzmacniacza i zestawów. Przeciążenie jest szczególnie groźne w różnych stanach pracy impulsowej, jak np. przy odtwarzaniu silnych impulsów, przy włączaniu itp. gdyysterowanie wzmacniacza jest bliskie maksymalnemu.

Przeciążenie może też zaistnieć w przypadku wystąpienia sprzężenia elektroakustycznego, np. przy współpracy z mikrofonem lub gramofonem. Z tego względu włączanie wzmacniacza, aranżowanie współpracy z mikrofonem, gramofonem i innymi urządzeniami najlepiej jest dokonać przy małymysterowaniu i ewentualnie neutralnych położeniach innych regulatorów.

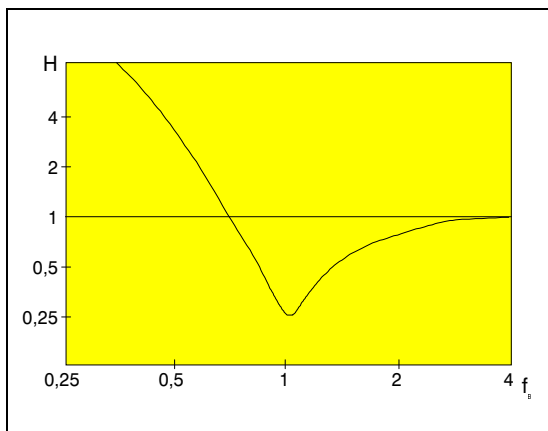
Ponieważ rzeczywisty efekt współpracy zestawów i wzmacniacza jest trudny do przewidzenia, dlatego też potencjalny nabywca powinien się raczej starać dobrze przetestować odsłuchowo wybrany komplet symulując obszernie różne warunki przewidywanej eksploatacji z zastosowaniem różnorodnego materiału słowno-muzycznego.

Filtr subsoniczny

Szczególnie niekorzystna jest współpraca wzmacniacza z zestawami w zakresie najniższych częstotliwości. Wzmacniacze dość dobrze przenoszą ten zakres częstotliwości podczas gdy zestawy mogą być już krytycznie przeciążone, a użytkownik nie będzie o tym miał żadnej informacji. Przypadek taki może zaistnieć np. przy współpracy wzmacniacza z gramofonem. Ramię gramofonu położone na płycie ujawnia rezonans igły w zakresie częstotliwości od 5 Hz do 15 Hz. Niewielkie oddziaływanie z otoczenia wzbudzi sygnał elektryczny o częstotliwości rezonansowej, który doprowadzony do wzmacniacza zostanie wzmoc-

niony i z dużym poziomem sterować będzie dołączone zestawy. Głośniki niskotonowe zestawów zostaną pobudzone w zakresie podakustycznym, a ich układy drgające zmuszone zostaną do ekstremalnie dużych wychyleń. Ponieważ jednak użytkownik nie będzie niczego słyszał to stan taki może się utrzymywać dłuższy czas prowadząc do degradacji, a nawet uszkodzenia zestawów. W przypadku wystąpienia opisanego zjawiska, przy odtwarzaniu innych częstotliwości wystąpić mogą silne zniekształcenia intermodulacyjne odtwarzanych częstotliwości akustycznych.

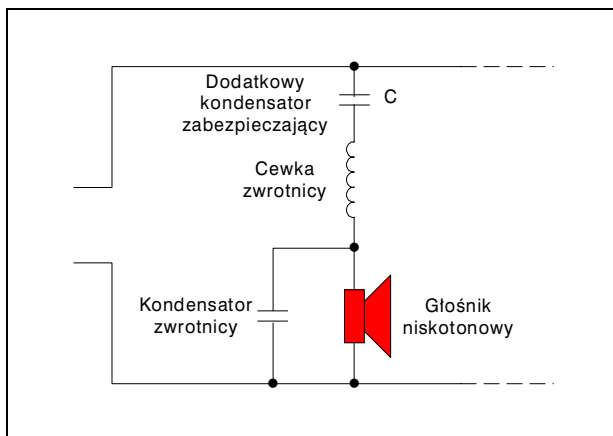
Na pobudzenie w zakresie najniższych częstotliwości szczególnie wrażliwe są zestawy z otworem (bass-reflex) gdyż membrany głośników niskotonowych wykonują w nich (poniżej pewnej częstotliwości) wychylenia tym większe, im częstotliwość jest niższa, co ilustruje rys. 41.



Rys. 41. Względne wychylenie membrany głośnika niskotonowego w obudowie z otworem

Aby wyeliminować wpływ opisanego zakłócenia i nie dopuścić do degradacji zestawów, niektóre wzmacniacze wyposażane są w tzw. filtr subsoniczny, który ma za zadanie stłumić częstotliwości poniżej 20 (ew. 30) Hz z nachyleniem 12, a nawet 18 dB na oktawę. Jednak nie wszystkie wzmacniacze wyposażone są w w/w filtr. Przy braku filtru, w razie potrzeby w tor sygnału ze źródła, w którym występują zakłócenia podakustyczne (wejście gramofonowe lub inne) można włączyć kondensator o odpowiednio dobranej pojemności. W miarę potrzeby

stosowny kondensator można też włączyć w obwód głośnika niskotonowego, jak to pokazano na rys. 42.



Rys. 42. Dodatkowy kondensator w obwodzie głośnika niskotonowego

Pojemność kondensatora oblicza się ze wzoru:

$$C = 1 / (2 \cdot f \cdot \pi \cdot Z),$$

gdzie:

C_o – pojemność kondensatora, w faradach,

f – częstotliwość graniczna, w hercach,

Z – impedancja wejściowa gałęzi (zwykle równa impedancji znamionowej zestawu), w omach.

Przykładowo, dla $f=20$ Hz i $Z=8 \Omega$ otrzymuje się $C_o=1000 \mu F$.

Zastosować należy kondensator bipolarny dobrej jakości o napięciu pracy 100 V; w razie potrzeby można łączyć kilka kondensatorów równolegle. Kondensatory powinny mieć odpowiednio duży dopuszczalny prąd i małą stratność.

Chociaż opisane rozwiązanie może w dobrych zestawach nieznacznie osłabić dynamikę basów, to niektórzy producenci zestawów stosują je w produkcji seryjnej.

Dokonując przeróbek zestawów we własnym zakresie należy pamiętać, że może to grozić utratą gwarancji udzielanej przez producenta zestawu.

Niektóre inne funkcje i zabezpieczenia

Dla zorientowania użytkownika co do poziomuysterowania wzmacniacze wyposażone są zwykle w skale wokół pokrętła regulatora głośności, a niektóre wzmacniacze nawet we wskaźnikiysterowania. W skale wyposażone są też niektóre inne regulatory. Niestety, ani skale ani wskaźniki nie są dostatecznie dokładne i raczej nie nadają się do precyzyjnego utrzymywania bezpiecznego, maksymalnegoysterowania, zgodnie z wcześniej omówionymi uwarunkowaniami. Wydaje się, że funkcję taką mógłby spełnić szybko reagujący świetlny wskaźnik obcinania (clippingu), który sygnalizowałby użytkownikowi potrzebę zmiany nastaw.

Wzmacniacze dużych mocy wyposażone są często w zabezpieczenia od przeciążeń termicznych i w zabezpieczenia przed wpływem zwarć na wyjściu. Zabezpieczenia te mają zapobiec zniszczeniu kosztownych stopni wyjściowych wzmacniacza mocy w przypadku wystąpienia przeciążeń spowodowanych m. in. również przez zestawy, np. w przypadku ich częściowego, lub pełnego uszkodzenia. Zabezpieczenie przed zwarciem może niekiedy wyłączyć sterowanie w przypadku, gdy zestawy mają głębsze i szersze minima impedancyjne. Niezależnie od przyczyny zadziałania, wskazane jest zmniejszenieysterowania przed ponownym włączeniem się sterowania.

Bardziej wyrafinowane wzmacniacze wyposażone są niekiedy w zabezpieczenia chroniące zestawy przed zniszczeniem w przypadku uszkodzenia się stopni wyjściowych wzmacniacza. Jest to bardzo użyteczna funkcja gdyż dobre zestawy kosztują nieraz kilka razy więcej niż wzmacniacze i niewielki wydatek na nią poniesiony może się bardzo opłacić.

Przy okazji można postawić pytanie, w który człon – wzmacniacz czy zestawy – opłaca się więcej zainwestować? Sądzę, że w przypadku posiadania w miarę dobrego pomieszczenia warto nabyć zestawy dobrej jakości za stosownie wyższą cenę, zadawalając się nawet mniej wyrafinowanym wzmacniaczem, gdyż w obecnym stanie rzeczy uzyska się w ten sposób lepszy efekt niż przy opcji przeciwniej.